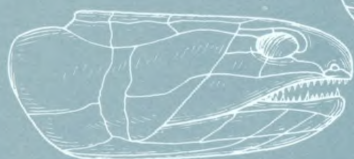
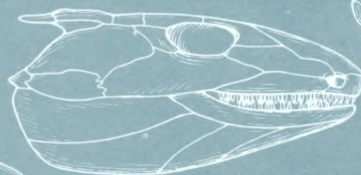
〔学研の図鑑〕
化石・岩石
かせき・がんせき

魚から人間へ

下の図は，魚から人間までの，おもな動物について，頭骨，全身の骨のつくり，運動のしせいに分け，古いものから順にならべたものです。全体をざっと見たら，下あごとか，手とか，1か所に注目して，その変化を追ってみてください。（図の資料は，W.K.グレゴリーによる）

ペルム紀の哺乳類に似た爬虫類
（哺乳類型爬虫類）

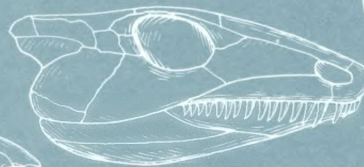
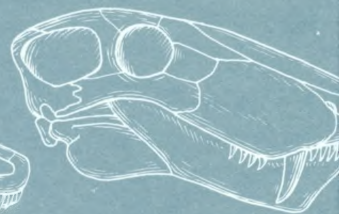
ペルム紀の原始的な爬虫類
（杯竜類）

石炭紀の両生類

デボン紀の魚類
（ユーステノプテロンのなかま）

キノナータス
（三畳紀の哺乳類型爬虫類）

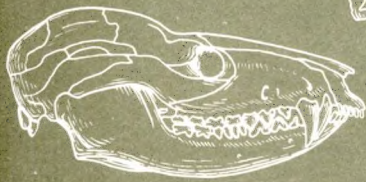
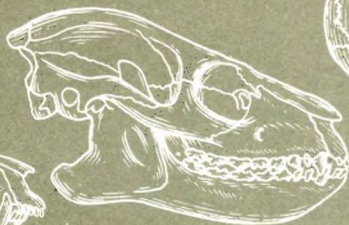
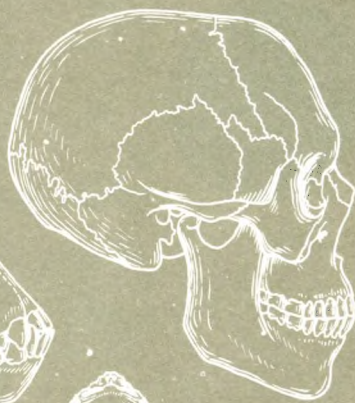
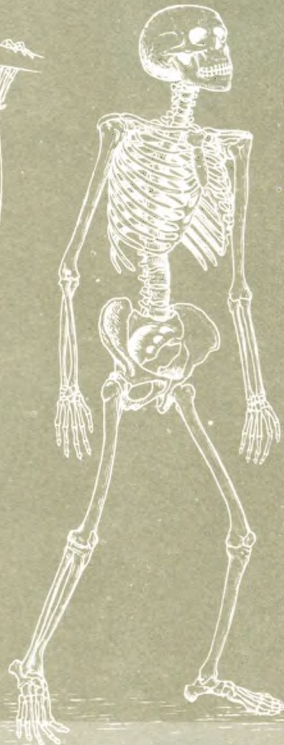
セイムリア
（ペルム紀の杯竜類）

ディプロバーテブロン
（石炭紀の両生類）

ユーステノプテロン
（デボン紀の魚類）

ユーステノプテロン
（陸に上がりはじめた魚）

ミクロブラキス
（陸に上がった両生類）

セイムリア

キノナータス

白亜紀の有袋類
（オポッサムのなかま）
始新世の原始的な霊長類
（キツネザルのなかま）
真のサルのなかま
ヒト
オポッサム
ノタルクツス
（キツネザルのなかま）
チンパンジー
ヒト
オポッサム
ノタルクツス
チンパンジー
ヒト

読者のみなさんへ

何億年という長い地質時代に，地球上にはさまざまな種類の生物が数限りなく生まれては死んでいきました。むかしの生物の中には，現在の生物に近いものも，現在ではまったく見られなくなってしまったものもたくさんいました。しかも，化石の中には，動物，植物，魚，貝など，あらゆるものがふくまれています。これでは，いろいろな分野から代表的な化石を選ぶだけでも困難です。

そこで，この本では，背骨をもった動物のたどってきた歴史を中心に，化石からむかしの生物“古生物”を復元したり，長い時間の間に，生物がどのように変わってきたかということを考えたりしました。

わずかな石のかけらの中にも，すばらしい過去の世界があることを読みとってください。

国立科学博物館古生物研究室　理学博士　**長谷川 善和**

石ころや岩石は，動物や植物のように，とびまわったり，さえずったり，花をさかせたりはしてくれません。このように，ものをいわない石ころや岩石の気持をとらえるためには，それがどのような場所にあり，どのようなようすをしているかなどを，直接自然の中から観察することがたいせつになってきます。

ですから，岩石の名まえや分類のしかたなどを，文字やことばだけで知るだけでは，石ころや岩石のほんとうのすがたをとらえることにはなりませんし，まして石との話し合いもできません。

この本では，岩石を火成岩，たい積岩，変成岩というふつうの分類にしたがって，写真や図をただならべることはさけてあります。

わたしたちが自然の中にはいっても，岩石はその順序通りに，都合よく出てきてはくれませんし，それらが長い地球の歴史の中で，たがいに関連し合って現われているからです。そのためにも，まず身近にある石ころや岩石について，それらがいろいろにからみ合っている自然のすがたに見合った調べ方や観察の進め方に重点をおいてあります。

みなさんが自然の中で，直接自分の目で見て，手でさわって，感じとっていただくためのきっかけになれば幸です。

大阪府科学教育センター　理学博士　**加藤 磐雄**

ケースの説明

おもて　白亜紀の草食恐竜，プロトケラトプスの成体と子ども(→54ページ)

うら　白亜紀のアンモナイト，プラケンティケラス(実物大)(→13ページ)

表紙の説明

おもて　更新世の哺乳動物，ヤベオオツノジカの頭(→21ページ)

うら　玄武洞の露頭(兵庫県)(→134ページ)

学研の図鑑

化石・岩石

かせき・がんせき

監修・執筆

国立科学博物館・理学博士

長谷川善和

大阪府科学教育センター・理学博士

加藤磐雄

学研

もくじ

化石

化石入門

古生代の化石

中生代の化石

新生代の化石

新生代日本の化石

岩石

川の石

川と海の石ころと砂

たい積岩

火成岩

変成岩

人と石

●この本を見るために

代	紀	世・紀
新生代	第三紀	中新世
		漸新世
		始新世
		暁新世
		(6500万年)
中生代		白亜紀
		(1億3600万年)
		ジュラ紀
		(1億9000万年)
		三畳紀
		(2億2500万年)
古生代		ペルム紀
		(2億8000万年)
		石炭紀
		(3億4500万年)
		デボン紀
		(3億9500万年)
		シルル紀
		(4億3000万年)
		オルドビス紀
		(5億年)
		カンブリア紀
		(5億7000万年)
原生代(先カンブリア時代)		

代	紀		世
	第四紀		(200万年)
新生代	第三紀	新第三紀	鮮新世
			(700万年)
			中新世
			(2600万年)
		古第三紀	漸新世
			(3700万年)
			始新世
			(5300万年)
			暁新世
			(6500万年)

この本は，化石をあつかったページ(P.5～96)と，岩石をあつかったページ(P.97～153)に分かれています。

●化石のページは

(1)年代について

生物や地層の古さを表わす年代のよび名は，本によっていろいろです。この本では，表に示したようなよび名を用いました。また，今から何年前かというおよその数字もまちまちですが，この本では表のような数字を用いました。

(2)生物の名まえについて

ほとんど学問上の名まえ(学名)を用い，それをカタカナで表わしました。本によって名まえがちがっている場合もありますが，名まえがちがっても，さくいんでできるだけわかるようにしてあります。

●岩石のページは

(1)全体が次の6つに分かれています。

- 川の石……川の上流，中流，下流のようすと，そこに見られる石ころのようすのちがい。
- 川と海の石ころと砂……川と海の水のはたらきのちがいと，石ころや砂の形やようすのちがい。
- たい積岩……たい積岩のいろいろと，地層がたい積するときのようすや地層のいろいろ。
- 火成岩……火成岩や深成岩のつくりのちがいやそのいろいろと，火成岩ができるときのようす。
- 変成岩……熱変成岩と広域変成岩のでき方のちがいと，そのいろいろ。
- 人と石との話し合い……人間は生活の中にとり入れた岩石のようすと，そのいろいろな利用。

(2)岩石の名まえは，カタカナで表わしました。調べたい岩石の名まえがもくじでわからないときは，154ページからのさくいんで調べてください。

化石（かせき）

化石はどうしてできる

化石というのは，かたい石になったものだけではありません。ふつうには，およそ1万年以上むかしの，地層の中から見つかる生物が残した“あと”を化石といいます。この“あと”というのは，生物が死んで残った遺がいや，生物が生活していたあとなどをさします。

動物の歯や骨，貝がら，植物の葉や幹などの化石はよく見かけるもので，これらは生物の遺がいの化石です。

動物のはいあとや巣穴などは，生活あとの化石です。このような生物の遺がいや，生活あとの化石を調べて復元したものを“古生物”とよびます。

化石は，長い間にたい積した地層の中から発見されることがふつうですが，ときには，思いがけないところから発見されることもあります。いろいろな化石の例について，どうしてできたかを考えてみましょう。

食われたり，くさったりしてなくなってしまう。

死んだ場所で，そのままたい積する。

流されるとちゅうで，ばらばらになり，なくなってしまう。

別な場所に運ばれる。

▲上の写真は，アフリカゾウの死がいである。動物は死ぬとくさったり，ほかの動物に食われたりして，ほとんどの場合なくなってしまう。しかし，なかには，死んだ場所ですぐ地中にうずまったり，別の場所に運ばれたりするものがある。

▲陸地や川岸で死んだ遺がいは，川の水によって下流に運ばれる。遺がいは水に流されると，かどがとれたり，すりへってくる。

ふたたび運ばれ，別な時代のものとたい積する。

発見されないまま，機械などでこわされる。

▲化石が発見される。しかし，せっかく発見されても，保存や発くつのための適当な処置がすぐなされないと，風化してこわれてしまうこともある。

▲山くずれや道路工事のときなどにも，地層にふくまれていた化石が出てくる。北海道の忠類村のナウマンゾウは，道路工事のときに発見された（上の写真）。

●化石になりやすい生物

生物の遺がいは，下の図のように，あらゆる機会にばらばらになり，地上から消えていってしまいます。いっぱんに，化石として残るのは，もともと地球上にいたばく大な数の生物のうち，ごく少数のものといえます。

反対に，1個の象の歯の化石が見つかると，その付近には，かなりの数の象がすんでいたと考えることができます。

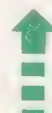
では，化石として残りやすい生物は，どのようなものでしょうか。まず，たくさんはびこっている生物ほど化石になりやすいといえるでしょう。くさりにくい，かたい組織をもっている生物も，やわらかい組織だけの生物より化石になりやすいといえます。たとえば，脊椎動物は，クラゲなどより化石になりやすいのです。また，すぐ地中にうずもれるような場所にすんでいる生物も化石になりやすいでしょう。空を飛ぶ鳥の化石が少ないのは，うずもれにくいためだと考えられます。

土の中の酸などにおかされてとけてしまう。

▲遺がいは，とちゅうでたい積したり，川口の三角州の中などにうもれる。急速にうずまった遺がいは，空気からとざされ，くさらずに残ることが多い。

熱や圧力のために変形した
[illegible]

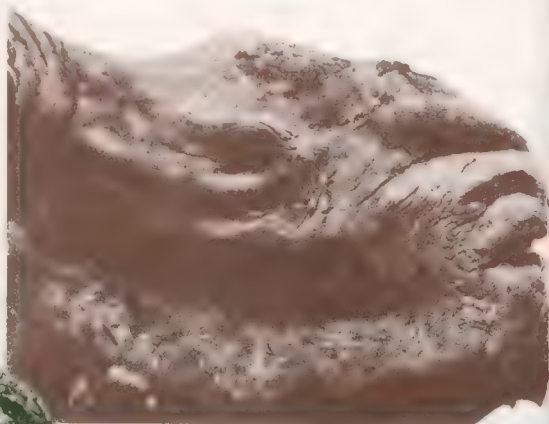
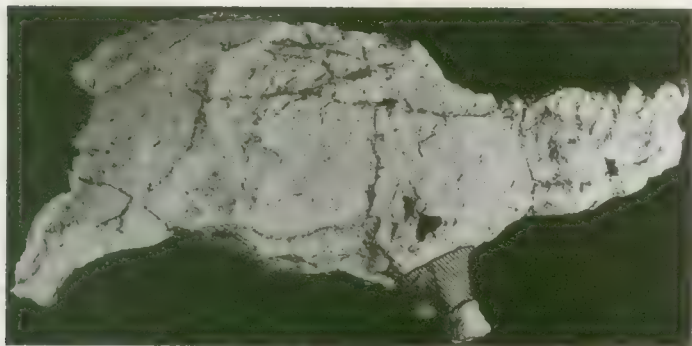
▲土砂がたい積すると重くなって沈み，その上に別の土砂がたい積していく。次からつぎにそうしたことがくり返され，厚い地層におおわれる。

あらい出された化石は，発見されないまま，ばらばらにこわれてしまう。

断層やしゅう曲などの地殻変動によりこわれてしまう。

▲もち上がった土地は，風や水流によってけずられる。上の写真は千葉県の屏風ケ浦で，このような場所であらい出された化石は，流され，また別な場所にたい積する。

▲たい積した地層が，地殻変動によってもち上がる。上の写真の象潟は，むかし海の中に小さな島が点てんとしていた所であったが，現在は海の部分が田になっている。

●めずらしい化石

化石は，ふつう，たい積した地層の中にふくまれています。しかし，なかにはとても変わった化石もあります。たとえば，タールのしみ出し（タールピット）の中だとか，何万年もの間こおりついていた大地の下などの，特殊な条件のところにできる化石です。これらの化石には，ふつうにはない，やわらかい部分も残っています。このような化石が見つかると，それがどのような古生物であったかを調べることが，たいへん楽になります。

◀▲タールの中の化石　氷河時代にすんでいたモウサイのミイラの化石で，ソ連との国境に近い，ポーランドのスタルニアから見つかった。毛はぬけ落ちていたが，やわらかい部分がそっくり残っていた。アメリカのランチョ・ラ・ブレアも，タールの中から化石がたくさん見つかることで有名である。日本では，秋田県南秋田郡槻ノ木の例が知られている。

▲溶岩の中の化石　第三紀にいたサイ，ディケラテリウムの化石で，アメリカのワシントン州から発見された。これは，サイがすんでいた沼地に溶岩流が流れこみ，溶岩の中にとじこめられたサイの外形が残ったもので，その中には下あごの骨が残っていた。右の図は，化石から復元したもの。東京都の青ケ島からは，鳥の頭部の化石が凝灰岩の中から見つかった。

▲◀凍土の中の化石　シベリアからは，氷づけの化石が見つかる。上の写真は，ベレゾフカから発見されたマンモスゾウのはく製で，残っていた肉は，イヌが食べれるほど新鮮だったという。左の写真は，水をかけて凍土をとかし，化石をほり出しているところ。

▲コハクの中の化石　コハクそのものも松やにの化石であるが，その中に昆虫の化石がとじこめられている。上の写真はゴキブリの幼虫で，触角や毛まで残っている。

●卵や足跡の化石

化石の中には，古生物そのものでなく，生み落とした卵とか，動物の足跡，動物のはいせつ物といったものもあります。これらはふつうの化石ではわからない知識が得られる点で，貴重です。

▲恐竜の卵の化石

▲恐竜の足跡の化石

◀瀬戸内海の海底からは，ゾウやヤギュウなどの化石が見つかる。左の写真は，フジツボがついたゾウの大たい骨の化石。

化石を調べる

古生物を調べることによって，大むかしの世界をおしはかることができます。その第１歩は，過去の証拠として残されている化石を採集することからはじまります。つぎに，採集した化石が，どんな古生物の遺がいであるかを調べます。これがわかると，地層との関連から，その生物の生きていた時代を調べることができます。

大きな動物や植物では，ふつう化石が不完全であるために，１個体を完全に研究することは，たいへんむずかしいことです。また，目に見えないような小さい生物は，ルーペや顕微鏡などで拡大して調べなければなりません。

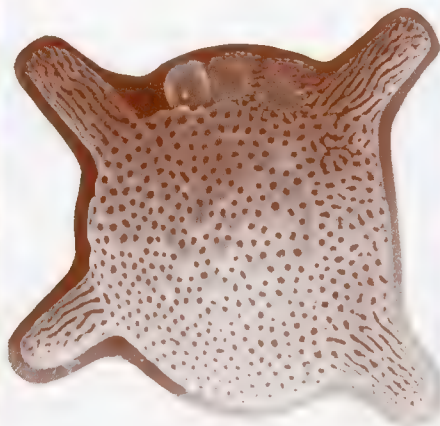
時代や種類がわかった化石がたくさん集まると，生物が長い間にどう変わってきたかを知ることができます。

●何であるか

どんな生物の化石かを調べるには，岩石の中にうずもれている化石をていねいに取り出さなくてはなりません。恐竜のように大きなものは，うずまっていた状態を記録しておくことも重要です。化石がどんなものであるかは，図鑑などで調べます。

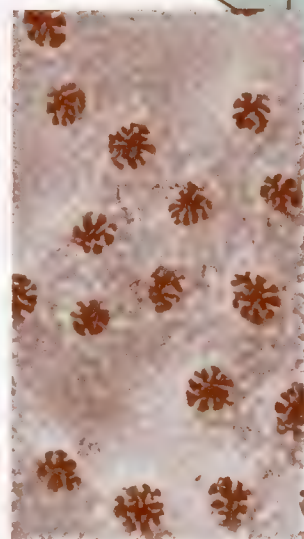
▲ペクテン・更新世（イタヤガイのなかま）

●小さい化石を調べる

▲目で見えないような小さい化石を微化石という。微化石の中でも，やや大きなものは，ルーペで調べる。

▲ルーペでわからないような小さい化石や，大きい化石のこまかい構造を調べるときは，顕微鏡や電子顕微鏡を使う。上の写真はカルカリナという有孔虫の化石で，左は約50倍，右は約800倍に拡大したもの。

●大きい化石を調べる

▲レピドデンドロン(幹)

▲ステグマリア(根)

▲植物の化石は，葉，幹，根などがすぐばらばらになり，全体を復元することがむずかしい。そのため葉，幹，根に別べつの名まえがついていることがある。

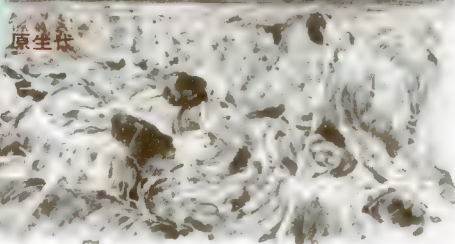
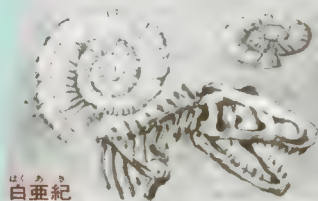
▲サメの背骨

▲サメ（カルカロドン）の歯

▲サメの場合のように，ふつう，歯や背骨などのかたい部分しか残らないことが多い。

●いつの時代のものか

化石が生きていた時代は，化石がうずまっていた地層や，その上下の地層から出てきたほかの化石などを参考にして決めます。化石の中には，ある特定の地層にだけ，つまりある時代だけに発見されることがよくわかっているものがあります。このような化石を“示準化石”といいます。示準化石が見つかれば，それといっしょに見つかった化石の時代を決めることができます。

瀬戸内海にいるカブトガニは，石炭紀から現在まで，長い間それほど変わらずに生き続けてきました。このカブトガニのように，大むかしに栄えたものが，あまり変わらずに，現在までほそぼそと生き続けているものを“生きている化石”といいます。

●どこで，どんな生活をしていたか

残された化石から，その古生物がどこで，どのような生活をしていたかを知るには，いろいろな困難があります。化石が不完全であったり，生活していた場所とはちがう所から化石が発見されたりすることもあるからです。また，やわらかい部分は，ほとんど化石に残りません。

古生物や，それが生きていた当時のまわりの環境を復元するためには，こうした問題を，１つずつ解決していかなければなりません。

●どこで生活していたか

化石を見つけたら，それがもとからのすみ場所のものか，どこか別の所から移動してきたものかを調べます。それは，化石から古生物を復元していくうえで重要です。

たとえば，海の地層から，ゾウやサイなど陸の動物の化石が見つかったとすれば，陸地から流されてきたことがわかります。海の貝がこわれないで見つかったり，アナジャコやカニなどが，巣穴の中でそのまま発見されたならば，それらの動物は，生活していた場所で，そのまま化石になったことを示しています。

また，恐竜の１体分がそのまま発見されたり，骨があまりこわれたり，すりへったりしない状態で発見されたら，その恐竜は，死んだところからあまり離れないで化石になったと考えることができます。

このように，化石の保存状態を調べることによって，古生物が生活していた場所を知ることができます。

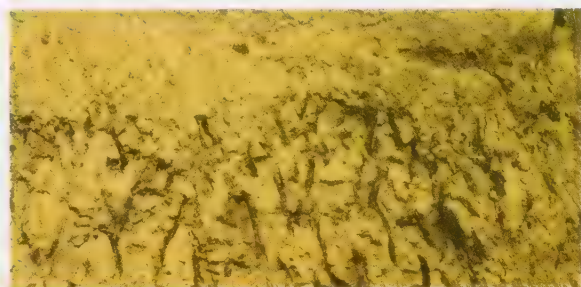
●地層から環境を知る

地層をつくっているものの性質を調べることによっても，その地層ができたころのようすがわかります。石灰岩の地層は海でできたもの，炭層の発達した地層は沼地などにできたものといえます。れき層，砂層，でい層と，地層をつくっている粒子がしだいに細かくなっていれば，この地層のたい積していた海が，だんだん深くなったことを示しています。

また，地層の中にふくまれている，目に見えない小さな花粉の化石を調べると，その地層ができたころ，まわりにどのような植物がはえていたかがわかります。

●現在の生物とくらべる

古生物は，すべての部分が化石になっているとはかぎりません。たとえば，やわらかい肉の部分などは，残りにくいので，化石としてあまり見つかっていません。そのような場合，現在生きている生物とくらべることによって，化石からだけではわからない部分を知ることができます。たとえば，象の鼻は，氷づけのマンモスゾウが発見されず，また今の象がいなかったならば，化石からだけでは，あれほど長いものであったとは考えられなかったかもしれません。

▲北海道の忠類村のナウマンゾウはでい炭層から見つかった。でい炭層は，当時の気候からするとやや温暖だったことを示している。

▲岩の表面に現われたアナジャコの巣穴の化石。巣穴の上のはしを結んだ線が，アナジャコが生きていた時代の海底であった。

▼現生のアナジャコの巣穴に，石こうを流して取り出したもの。穴の形や大きさにも，いろいろあることがわかる。

●どう変わってきたか

中生代の示準化石アンモナイトは，イカやタコのなかまですが，からをもっていました。からの内側には，竹の節のように仕切りがあり，多くのへやに分かれています。へやとへやの仕切りが，外側のからとまじわる線を縫合線といい，外側のからをとりのぞくと見えてきます。縫合線の模様は，時代や種類によってちがっています。

からの大きさは，直径１cmから３ｍに達するものまでいろいろあります。また，アンモナイトがほろびるころには，ニッポニテスやポリプチコケラスのように，からの巻き方が異常になったものがたくさん知られています。

●縫合線の変化

縫合線は，アンモナイトを分類するうえで重要なものです。大きく分けると，ゴニアタイト型，ケラタイト型，アンモナイト型の３つになります。右の図のように，単純なものから しだいに複雑なものに進化してきました。

▲ゴニアタイト型（石炭紀～ペルム紀）

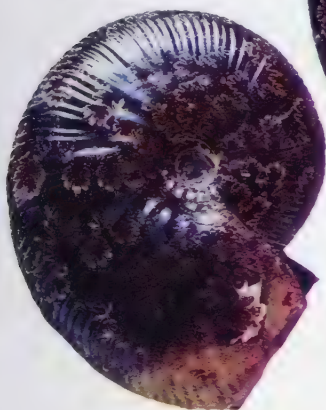
▲ケラタイト型（三畳紀）

▲アンモナイト型（ジュラ紀～白亜紀）

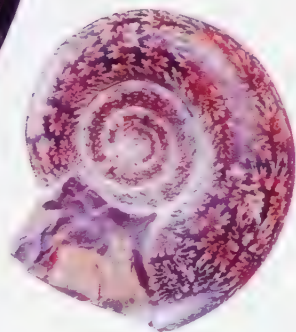
▶ホランディテス（三畳紀）
宮城県産

▲アンモナイトの復元図
から以外の部分は，現在のオームガイやイカなどから推定したもの。

▼プラケンティケラス（白亜紀）
アメリカ産

▲ダクチリオケラス（ジュラ紀） 山口県産

▲クラスペドテスクス（白亜紀）
ソ連産

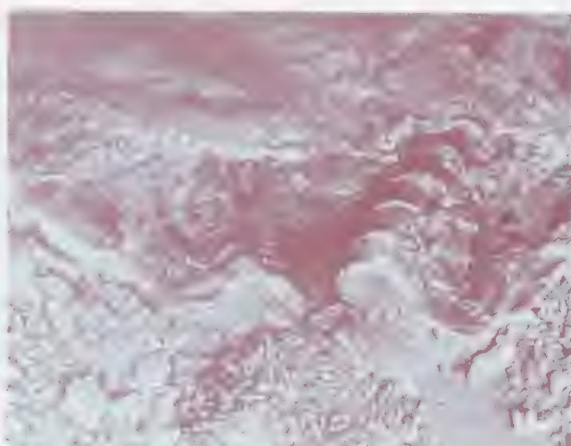
▲ゴウドリケラス（白亜紀）
北海道産

◀ポリプチコケラス（白亜紀） 北海道産

◀ニッポニテス（白亜紀）
北海道産

化石を復元する――フタバスズキリュウ

古代の動物を復元するには長い年月がかかります。大きい動物ほどたいへんです。絶滅した動物と今の動物とはちがいますから，比較することもむずかしいのです。完全にそろった化石が発見されることもまれで，まったく新しく発見された動物だと，まちがった復元をされることもよくあります。正しく復元するには，発掘の時に細心の注意をする必要があり，室内作業も時間をかけててしいねいに行うことがたいせつです。

日本では，長い間大きな動物の復元ができませんでした。よい化石が見つからなかったからです。ここでは，最近復元された首長竜を例にとりあげ，大形動物を復元するまでのすじ道をたどってみましょう。

▲1968(昭和43)年，当時高校2年生の鈴木直さんは，福島県いわき市久之浜町の大久川の川岸で，数個の骨を発見した。

▲1969年の1回目の発掘では，背骨や骨盤，頭骨，後ろのひれ足などが発掘された。写真は背骨と骨盤の部分。

▲新しく見つかった首長竜を調べるため，アメリカからS.P.ウイルス博士も来日した。

▲1970年には2回目の発掘が行われた。写真は，2回目の発掘で姿を見せた背骨や，大きな前のひれ足。

▲化石のまわりのかたい岩を，さく岩機でくだいて取りのぞく。発掘の際は，化石がうずまっている範囲を予想し，どれだけほればよいか決めることが重要である。

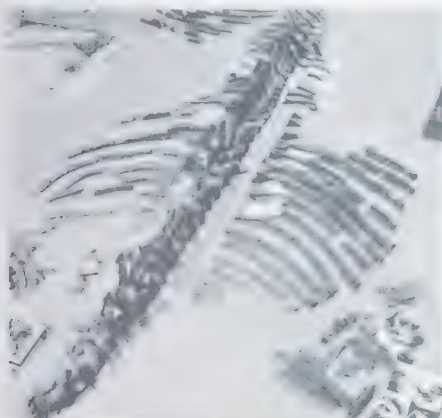
▲ほり出された化石の表面に，石こうをかけて保護する。化石はできるだけこわれないように，大きなかたまりのままほり出す。

▲研究室に運ぶため，クレーンでつり上げられた化石のかたまり。

◀研究室に運びこまれた化石は，表面から少しずつ余分な岩を取りのぞく。しだいに一つ一つの骨のつながり方がわかってくる。このような仕事をクリーニングという。クリーニングにはすぐれた技術と忍耐力がいる。

▲クリーニングには，いろいろな大きさのハンマーやたがねが使われる。

▲重要な部分で，岩がかたいときには，振動の少ない医科用の電動ドリルなどが使われる

▲こわれやすい骨は，特殊な薬品で補強しながらほり進む。

▲破損している部分を見つけて，おぎなうために，岩からほり出した骨を順番にならべる。

▲首長竜の頭部。歯は円錐形で，上下に何本もはえている。このような歯の持主は肉食性であり，首長竜は，おそらく魚を食べていたのだろう。頭の後ろの方は，侵蝕のため，なくなっている。

▲欠けている部分は，外国の化石を参考にしておぎなう はじめねん土でつくり，石こうにつくりかえる。

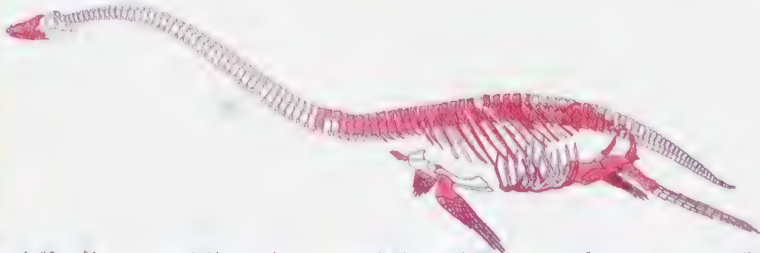
▲すべての骨をプラスチックの模型にする。

▲骨格の組立てがはじまる。どんな形にするか，心棒作りがたいせつである。

▲背骨がならぶと肋骨がとりつけられる。すでに出来上がっている手ひれと足ひれがつけられると，胴の部分が完成する。

▲上の復元骨格にそのまま肉付けしたときの復元図

▲正面の下の方から見たこの動物は，ほんとうに首長竜という感じがする

▲骨格が出来上ったら，それをもとにして肉付けをする。このようにして出来上ったものを生体復元という

▲化石が残っていた部分と，欠けていた部分とを区別すると，図のようになる。骨は約半分しかなかったが，重要な部分がほぼ発見されたので復元は正確にできた。

▼復元された首長竜

アジアでは初めての，世界でも新しい種類に属する首長竜（首長竜は新称で正式には蛇頸竜という）の化石が復元された。8000万年もむかし，日本にもこんな動物がすんでいたことが証明されたのである。この首長竜は，体長6.5ｍ，手を広げると3ｍもあり，首長竜のなかまのうちでも最も進化した，首の長い種類に属する。よその場所から出る断片的な化石を研究するときの基準標本になる，学問的にも貴重な化石であり，化石が出た地層の名まえと発見者の名まえをとって，フタバスズキリュウという和名がつけられた。復元された首長竜のポーズは，えさをもとめて泳いでいる様子を想定している。

（この復元骨格は，いわき市文化センターに展示されています。）

●サメに殺された

フタバスズキリュウの化石をほり出している間に，全部で80こ以上のサメの歯の化石が見つかった(写真③)。ほとんどが背骨や手ひれ，足ひれの近くにあった。また，1本は肩の骨に(写真②)，1本は背骨の突起にくいこんでいた。おそらく，この首長竜はアオザメ級の大きさのサメとたたかって殺されたもので，サメの数は数匹はいたものと思われる。写真①は現在のアオザメの歯のはえ方を示す。

●胃石があった

フタバスズキリュウは，胃の中に40こ近い石を飲みこんでいた。おそらく，あの鋭い歯でとらえ，まる飲みしたえさを，小さくくだくのに役立てられたものであろう。

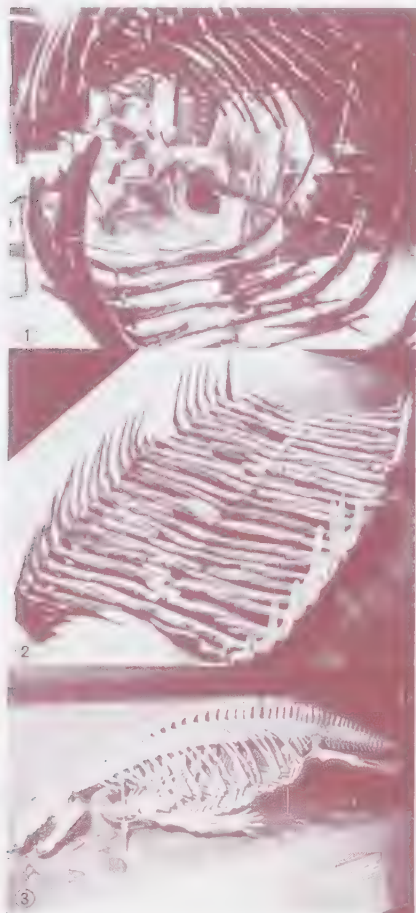
「今から8000万年前のある日，海岸で卵を産み，つかれたからだで泳ぎだした首長竜に，数匹のサメがおそいかかった。首長竜は白波をけたてて必死にたたかったが，"海のギャング" サメのまえにあえない最期をとげた。」

化石を研究している者の夢は，ほり出した化石から全体の骨格を組み立て，それに肉づけをして，生きていた当時の世界の中で動かしてみることである。最初の発掘から6年，やっとこのような光景がえがかれた。

●腹を守るきみょうな骨

魚のひれが背骨につくようなしくみで，フタバスズキリュウの腹側に数組の不思議な骨が発達している。これを腹肋骨とよぶが，胴はまるで骨のトンネルである(写真①)。胸と腰のあたりは，平らな骨で腹面が守られているが，中間の弱いところを，この腹肋骨が支持している。

いっぱんに，古い時代の動きの活発でない脊椎動物で，腹をつけて歩くようなものには，腹の骨が発達していた。たとえは，首長竜より前の時代の三畳紀に，浅い海にいたプラコダスという動物(写真③)にも，発達した腹肋骨(写真②)がある。フタバスズキリュウにも，まだ祖先の影響が残っていたのであろう。

また，腹肋骨が水の抵抗から腹を守るために役立ったことも考えられる，おそらくフタバスズキリュウは，水面近くをモーターボートが走るようにはげしく泳いでいたのだろう。

化石を復元する——ヤベオオツノジカ

フタバスズキリュウは初めて見つかり，幸運にもすぐに1頭分が復元できた例です。これからしょうかいするオオツノジカは，ずっとむかしからあちこちで一部の骨が発見されていましたが，まとまったものがなく，なかなか復元できなかった例です。

オオツノジカの場合は，次のようにして復元されました。まず最近，かなりまとまって発掘された一組のオオツノジカを基本にしました。基本にしたオオツノジカで欠けている部分は，別の場所で出たオオツノジカから，基本にした個体と同じ大きさの化石を選んでおぎないました。それでも不足する部分は，大きさのちがう化石を参考にしてつくりました。

同じ場所から，大きさのちがうたくさんの個体の化石が，ばらばらになって出てくる場合には，骨の大きさの順番を決めて，各部分を組み合わせ，ちょうどパズルを解くようにして復元をすることもあります。

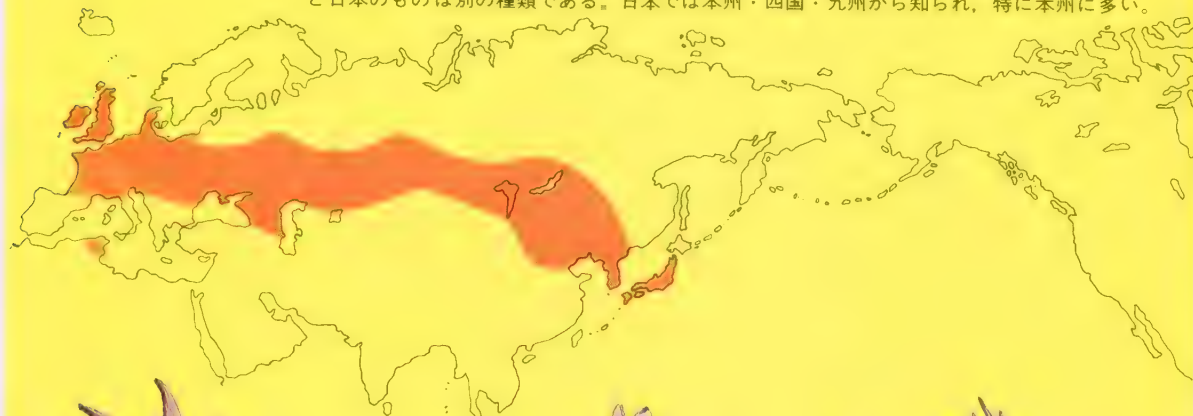
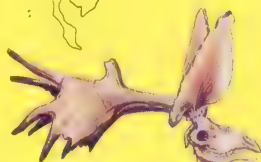
▲オオツノジカは，色でぬった部分の骨から復元された。色がちがうのは，いろいろな場所の化石をもとに復元したことを示している。

▲組み立て中のオオツノジカ　骨格の構造が簡単なわりに，手足の部分の組み立てがむずかしい。

●復元されるまで

日本のオオツノジカは，ヤベオオツノジカとよばれる。1938年栃木県葛生地方の石灰岩地帯から発見された不完全な角によって名づけられた。その後，完全なヤベオオツノジカの角が神社の宝物になっていることがわかった。この復元骨格の角がそれで，じっさいに発見されたのは，約200年前だった。基本になった胴体の部分は，1972年山口県の洞くつたい積物から発見されたものである。また，うしろ足の片側は，静岡県から採集したものを用いた。

●オオツノジカの分布

オオツノジカは，ヨーロッパからアジアにかけて，おもに北緯40度から60度の間に分布していた。ヨーロッパとアジアのオオツノジカは種類がちがう。アジアでも，中国のものと日本のものは別の種類である。日本では本州・四国・九州から知られ，特に本州に多い。

▲ヨーロッパのオオツノジカ
（メガロケロス・ギガンテウス）

▲中国のオオツノジカ
（シノメガケロス・フラベラツス）

▲日本のオオツノジカ
（シノメガケロス・ヤベイ）

（分布図はB．A．トロヒモフによる）

▼復元されたヤベオオツノジカ

オオツノジカは，第四紀の更新世後期にいた代表的な哺乳動物で，更新世か終わるころに絶滅した。ウマぐらいの体格をしており，ヨーロッパのオオツノジカでは，角のさしわたしか 3.5m もあった。日本で最初に復元されたヤベオオツノジカの場合，体長および頭までの高さはそれぞれ 2.5ｍで，山口県立博物館に展示されている。やわらかい木の葉や草を好み，広葉樹の多い林や草原にすんでいた。組み立てられた骨格は，危険を感じたらとんでにげようと，聞き耳を立ててあたりをうかがっているところである。

▲オオツノジカの復元　現生のシカはメスに角がないことが多い。オオツノジカのメスにも角がなかったろう

化石と生物の進化

現在、地球上には、動物だけでも100万種以上もいるといわれています。また、化石として残っているずっとむかしの生物の中には、現在いるのとはまったくちがったものもたくさんいました。このような、地球上のさまざまな生物たちは、いったいどのようにして発展してきたのでしょうか。

むかしの人びとは、地球上に大洪水が起きるたびに、古い生物がいっせいにほろび、そのたびに神の力によって新しい生物がつくられてきたのだという"ノアの洪水説"を信じていました。

しかし、19世紀のはじめごろの学者の中には、生物は少しずつ変化しながら進化してきたのだということを説く人たちが出てきました。

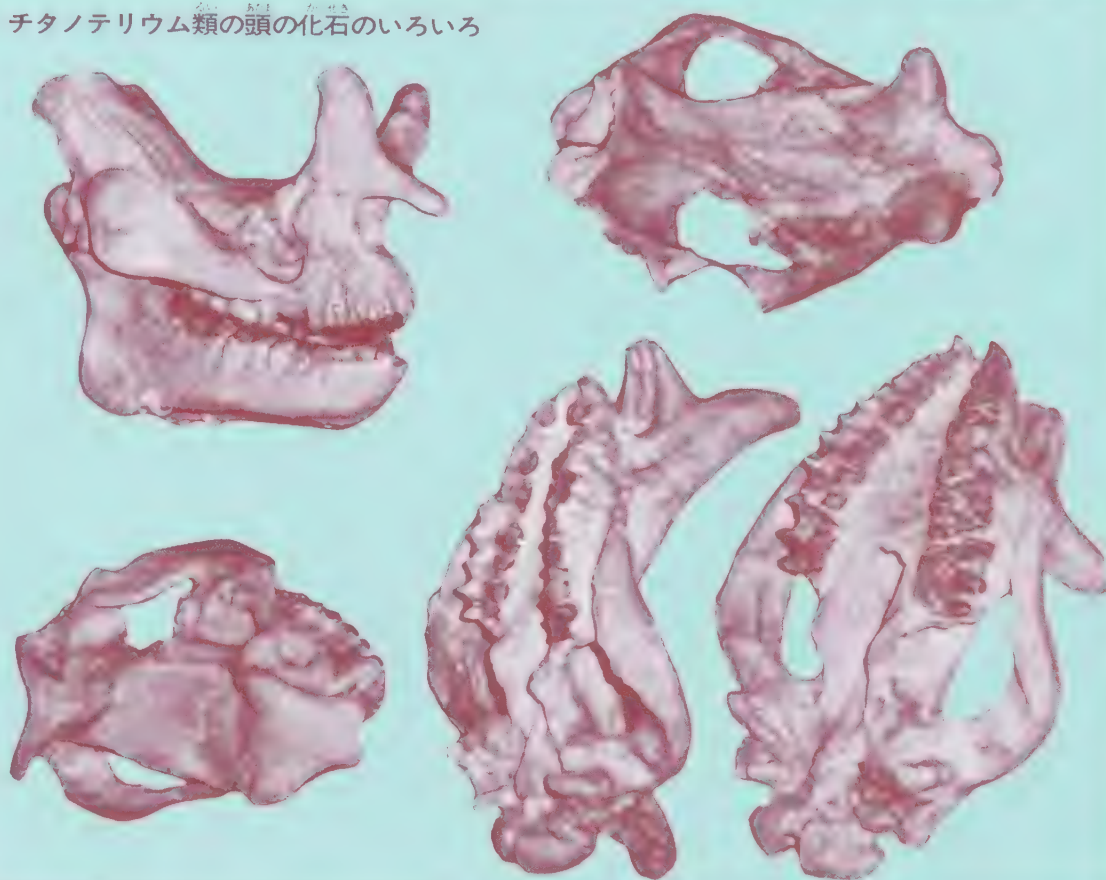
長い地球の歴史の中で、そのような考えを証明するためには、連続してたい積している地層の中から出てくる化石に、きれめのない変化が見られなければなりません。

ここでは、長い年月かかって集められた化石の中で、生物が連続して進化してきたものだという証拠とされる代表的な動物について、どのように進化してきたのかをみていくことにしましょう。

●化石を集める

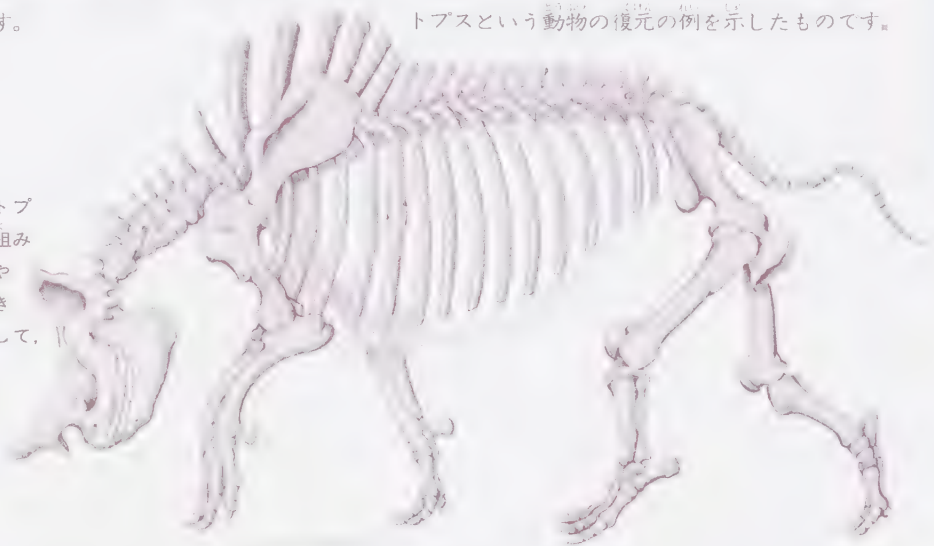
化石から生物の進化を調べるためには、まず似たような化石をできるだけいろいろな地域から、またいろいろな地層から集めなければなりません。しかし、これはじっさいには大変な仕事です。化石として発見されるものは、じっさい生きていたものにくらべてほんのわずかです。まるでページが大部分ぬけ落ちた本から、全体の話のすじを読みとるようなものです。

これからしょうかいする北アメリカのチタノテリウムとか馬のなかまなどは、例外ともいえる豊富な化石によって、進化が証明された数少ない例です。チタノテリウムという動物は、聞きなれないかもしれませんが、馬類と同じ奇蹄類に属し、サイに似た動物です。

チタノテリウム類の頭の化石のいろいろ

●化石から復元する

採集された化石は，その特徴や，それがふくまれていた地層にしたがって，整理，分類していきます。化石がひととおり整理されると，それぞれの化石を細かく観察したり，計測したりします。

つぎに，各グループごとに，それぞれの化石の骨のつながりぐあいを調べて，全体のからだつきを復元します。下の図は，チタノテリウムのなかまのひとつで，ブロントプスという動物の復元の例を示したものです。

▶がんじょうで重いブロントプスは，ひとりやふたりでは組み立てができない。はしごややぐらを使い，持ち上げるときはチェーンを利用するなどして，大がかりな仕事になる。

▶骨格の特徴を調べ，現在の動物とくらべることによって，大むかしの動物の筋肉のつき方や，強さがわかる。こうして調べられた筋肉を骨格につけていくと，肉づきの復元ができる。

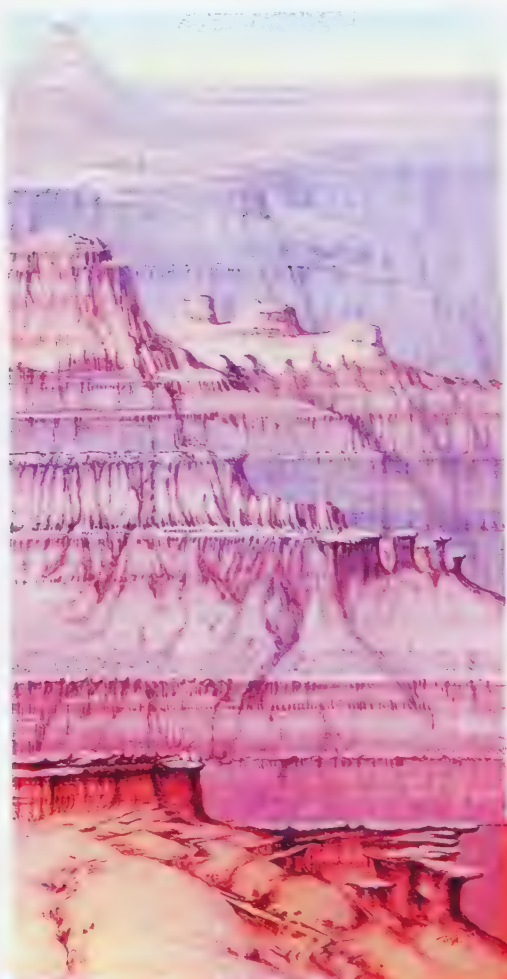
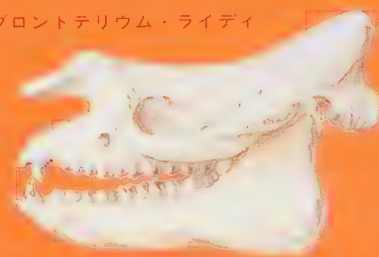
▶皮ふをつければ生体の復元が完成する。からだの表面がどうなっていたかは，動物によってわからないものもあるが，すんでいた環境や食物，運動のしかたなどを調べておしはかる。

(図の資料は，H.F.オズボーンによる)

●時代をおって変化を調べる

それぞれのグループごとの復元がある程度できると，前後の地層から出た化石の間にどんな関連があるか，古い地層から新しい地層のものへ行くにしたがって，からだの形やつくりにどんな変化があるかを調べます。

下の図は，各時代の代表的なチタノテリウムのなかまの頭骨，正面から見た顔，生体の復元図を時代の順にならべてみたものです。この図からも，チタノテリウムのなかまは，からだや鼻の上の1対の角が，どんどん大きくなっていったことがわかります。

からだが大きくなると，骨格にも変化があらわれます。それぞれの骨は太く，長くなり，大きい筋肉のつくところが発達します。4本の足は，重いからだを支えるために，幅の広いしくみに変わりました。このようにからだが大きくなっていくのに対し，歯や足の構造など基本的なところはあまり変化がなく，むしろ原始的な状態をとどめていました。チタノテリウムのなかまは，太い肋骨で，でっぷりした胴体をしていたところをみると，たくさんの植物を食いためしていたようです。

▲北アメリカの南ダコタ州の風景。ここの地層からチタノテリウム類の化石がたくさん見つかった。

●チタノテリウムの故郷は北アメリカ

北アメリカの南ダコタ州の大渓谷からは，巨大な動物の骨がたくさん発見されている。この付近は，今から3000万年ほど前の漸新世という時代の地層で，ネブラスカ州のもっと古い地層からも，似た骨がたくさん出ている（右の写真はパレオシオプス）。

チタノテリウムが栄えたのは，始新世から漸新世という時代である。チタノテリウムのなかまは北アメリカに出現して，一部はアジアまできた。ゴビ砂漠のエンボロテリウム（→69ページ）がその例である。日本からは見つかっていない。しかし，同じころにいたアミノドンというサイのなかまの化石が，宇部や北海道の炭田から見つかっており，同じ化石は北アメリカからも出ている。

正面から見た顔

生体復元図

（図の資料はH.F.オズボーンによる）

●チタノテリウムの進化

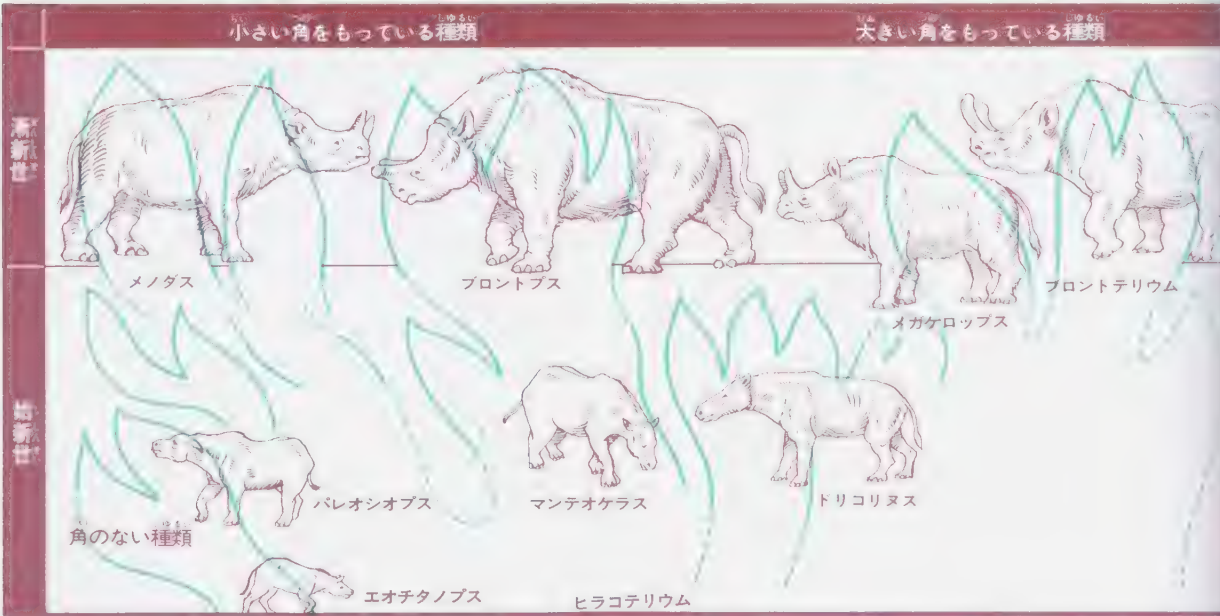
前のページで，チタノテリウムのなかまは，からだや角が巨大化してきたことについてふれました。このような変化は一直線に起こったのではありません。じつは下の図のように，いくつもの系列に分かれて進化してきたのです。これらの系列は，大きい角をもった種類，小さい角をもった種類，角のない種類に分けられます。

始新世から漸新世にかけて，これほど栄えたチタノテリウム類が，漸新世の中ころに急にほろんでしまったのはなぜでしょうか。チタノテリウム類は，急にからだが大きくなったのに対し，歯や足などの基本的なしくみが原始的なままでした。そのため，中新世初期の新しい環境についていけなかったのだろうと考えられます。

●馬の進化

生物の進化を知るうえで，馬のなかまほどよくわかっているものはありません。北アメリカには，馬の祖先が出現したころから現世までのたい積物が，ほとんど連続して残っていて，それぞれの時代の化石をとり出すことができるためです。

馬のなかまも，チタノテリウム類と同じヒラコテリウムから進化してきました。チタノテリウムがほろんだころ，馬はまだ木の葉を食べていました。しかし，その後は草食性の馬に変化して，ますます発展しました。草原の生活に適した馬類は，からだが大きくなることのほかに，速くかけるのに都合のよいように，足の指の数がだんだんへってきました。馬のなかまは，足や歯などのつくりを改良して，中新世の新しい環境，つまり，気温が下がり，それにともなって広がった草原の生活にも適応して，生きのびてきたものといえます。

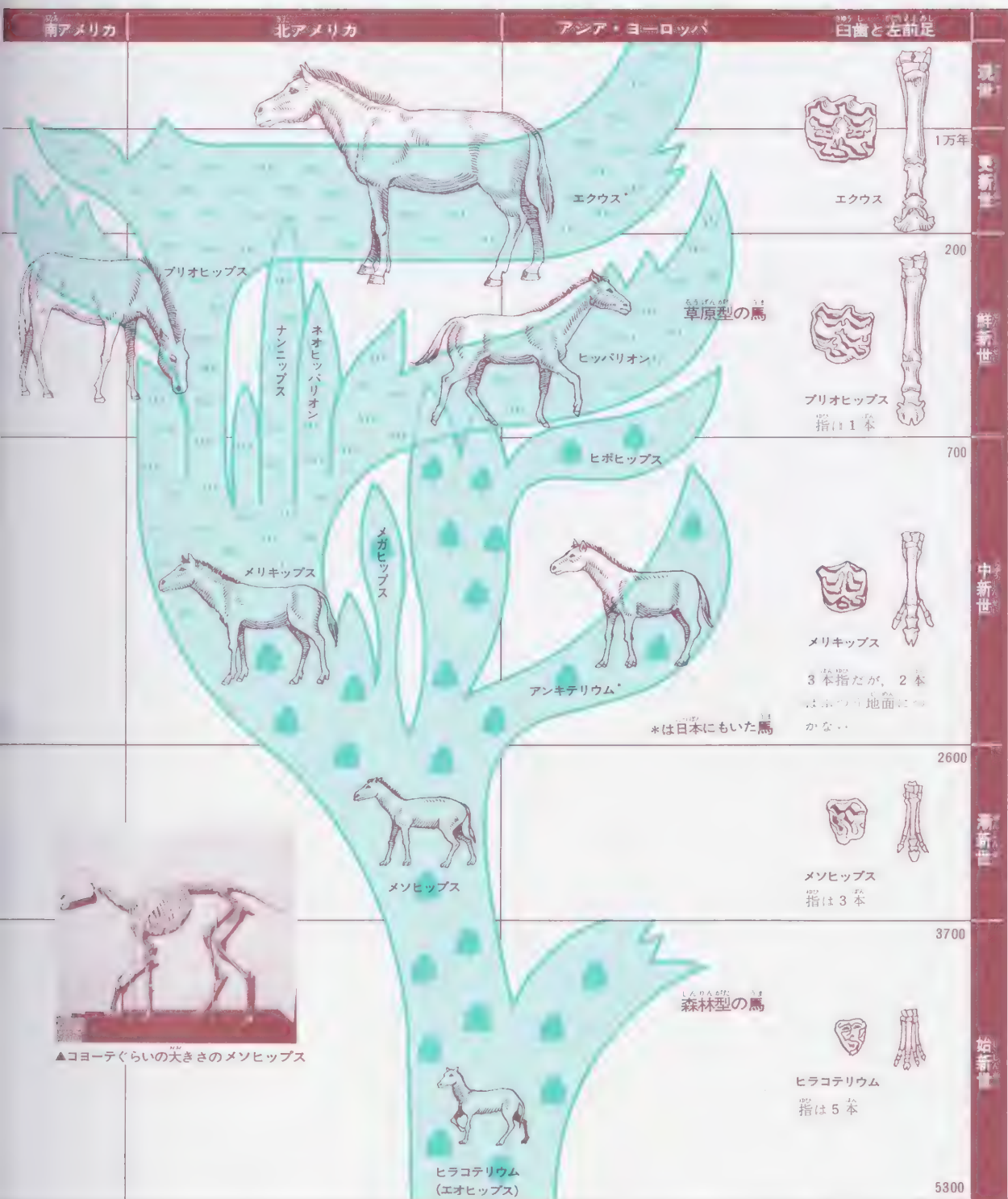
▲肩までの高さが2.4mにもなる巨大なブロントテリウムの骨格。先祖の大きさはヒツジぐらいであった。

（図の資料はH.F.オズボーンによる）

●進化の法則

時代がたつにつれて，からだが大きくなることは，チタノテリウムや馬にかぎらず，いろいろな動物，たとえば恐竜のなかまでも，象やラクダなどでもふつうにみられます。このようにいろいろな動物群にわたって，共通にみられる現象を，進化の法則とよんでいます。

この例のように，からだがどんどん大きくなることは“体躯増大の法則”といいます。また，チタノテリウムの角がどんどん大きくなったり，馬の足の指の数がだんだん少なくなるというように，形がある定まった方向に変化していくことを“定向進化の法則”といいます。

チタノテリウムの場合，からだがどんどん大きくなる

▲コヨーテぐらいの大きさのメソヒップス

(図の資料は，G.G.シンプソンによる)

とちゅうでは，さかんにいろいろな系列に分化し，それぞれの系列で発展していますが，大きくなった最後のところで絶滅してしまいます。これは，わたしたちが，幼年期，青年期，壮年期をへて老化していくのと似ています。このように，ある種類の生物が段階をおって進化していくことを“段階の法則”とよんでいます。

また，進化が地上の同じ場所で行われず，遠くへただった地域へ移動して行われることを“移動の法則”とよんでいます。上の図のように，馬類は北アメリカを中心に進化してきましたが，いくつかの系列はアジアや南アメリカにもわたりました。そして，現世にはいって，北アメリカの馬類は絶滅してしまったのです。

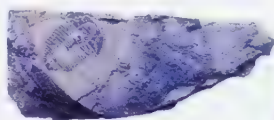
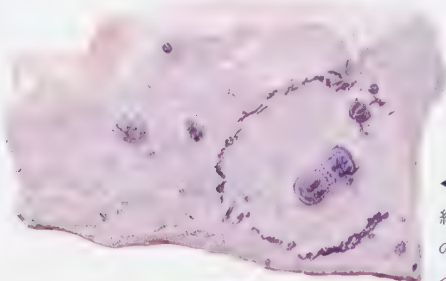
無脊椎動物の時代

カンブリア紀は、古生代の最初の紀で、およそ6億年から5億年前の時代です。カンブリア紀にはいると、保存のよい化石が急にふえることから、このころ生物が大発展したことがわかります。また、化石がたくさん見つかることは、このころ貝がらのような固い部分をもった生物が多くなったことも意味しています。

カンブリア紀の化石は、世界じゅうから発見されていて、そのほとんどは、海の中にいた植物や無脊椎動物のなかまです。現在見られる無脊椎動物の大部分の祖先は、この時代に出現しています。しかし、筆石や三葉虫のなかまのように、古生代にたいへん栄え、中生代にはいる以前にほろんでしまったものもいました。

●三葉虫の化石

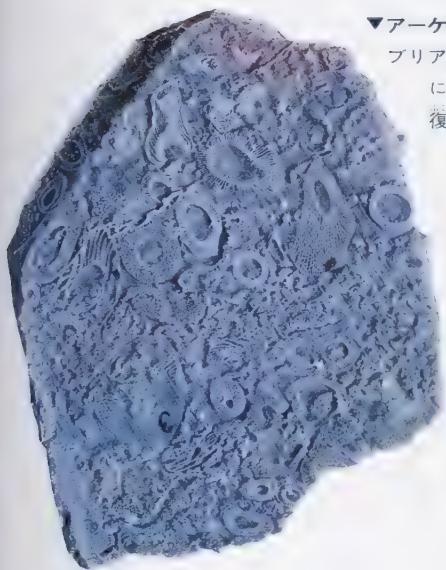
三葉虫は、カンブリア紀からペルム紀まで、古生代のすべてにわたって生き続けていました。とくに栄えたのは、カンブリア紀からオルドビス紀にかけてで、カンブリア紀の化石の60%は三葉虫といわれています。

日本からは、シルル紀から石炭紀まで、各時代の三葉虫の化石が知られています。

◀**ベルタグノスタス** カンブリア紀 アメリカ産 右下の黒丸の中のもの。頭と尾が大きく、よく調べないと前後がわからない。

▲**バティリスクス** カンブリア紀 アメリカ産 上左の小さいのは幼体で、上が成体。成体の頭胸部は一部が欠けている。

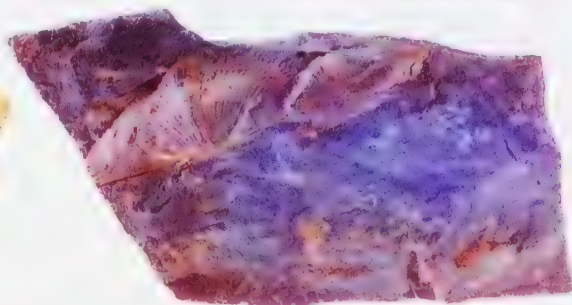
▲**パラドキシデス** カンブリア紀 チェコスロバキア産 頭胸部が欠けている。

◀**デアカリメネ** シルル紀 アメリカ産

▶**エンクリヌルス** シルル紀 イギリス産 頭胸部に多数のとげのような突起がある。

▼**アーケオキアタス**（古杯類）カンブリア紀　カンブリア紀にだけ栄えた特殊な海生動物。海綿動物に近いものと考えられている。下の図はその復元図で，左の写真は化石の断面である。

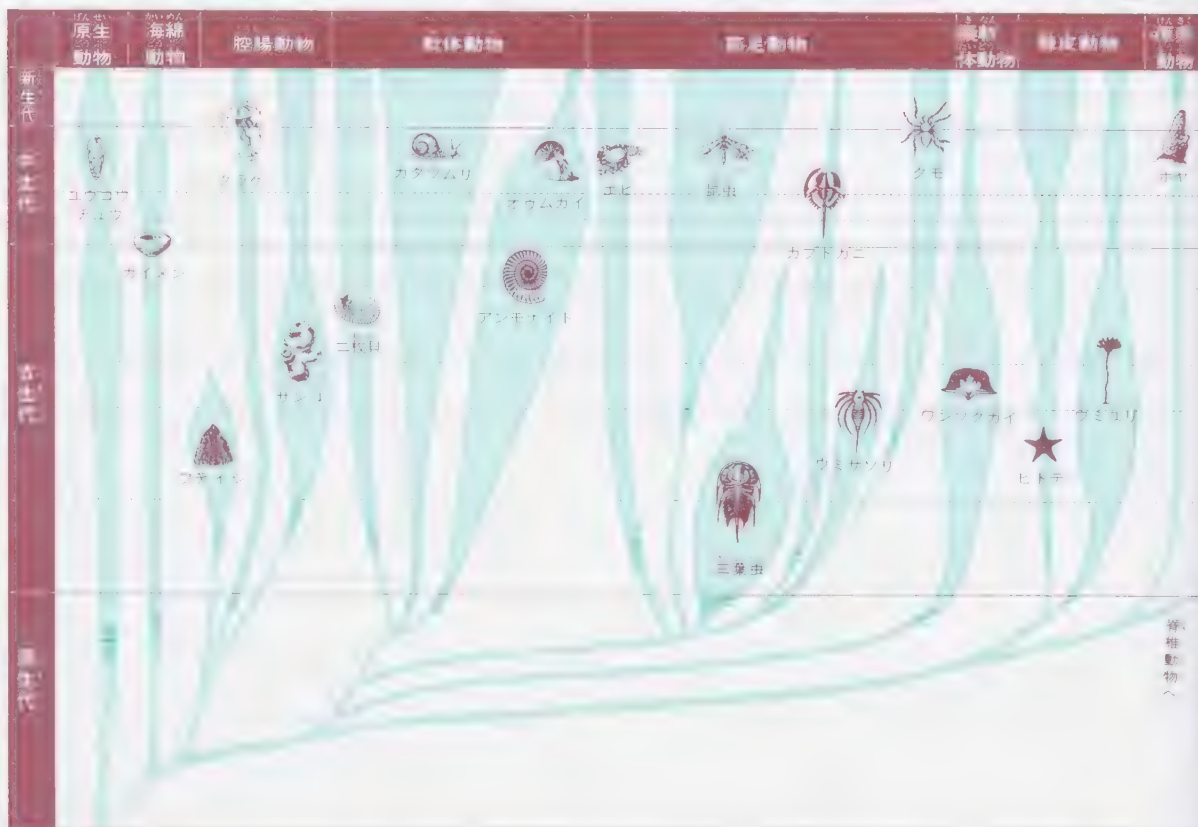
▼**フィログラプタス**（筆石類）オルドビス紀　古生代の海にごくふつうな動物で，ほとんど浮遊生活をしていた。当時の全世界の海に分布していた。

▼**パラメキノケラス**（頭足類）デボン紀　生きている化石オウムガイと同じなかま。むかしのものはからがまっすぐにのびており，直角貝とよばれる。成長するにしたがって隔壁の数がふえる。

▼**スピリファー・ベルヌイリ**（腕足類）デボン紀　２まいのからをもった動物で，からの中にうずまき状の腕とよばれる器官があった。日本でも知られ，写真は岩手県産。

▶▼右の写真で，左は**モスコビクリヌス**（海百合類）石炭紀　右は**クロミオクリナス**（海百合類）　石炭紀　ウミユリのなかまは古生代に大発展し，中生代以後は急速におとろえた。現在は深海にほそぼそと残っていて日本近海にいるトリノアシは，ウミユリの生きている化石である。

● 無脊椎動物はいつごろ現われたか

何十億年も前の、最初の生物を化石として発見することはできません。それは、とても小さく、やわらかいものだったと考えられるからです。最も古いと思われる化石は、19億年以上も前の先カンブリア時代(原生代)のもので、電子顕微鏡で発見された小さい化石です。

次のカンブリア紀には、ほとんどの無脊椎動物の代表者が出そろいました。下の図は、それらの動物が現われた時代と、相互の関係を示したものです。しかし破線の部分は、まだ化石のうえでは証明されていません。

▲**カンブリア紀の海の中**　カンブリア紀には、かたいからをもったものがたくさん現われた。それらは、海底にすむものが多く、三葉虫や軟体動物のなかまのほか、海綿に似たアーケオキアタスや、筒状の動物であるヒオリテスなどが代表的なものであった。

●三葉虫とは何だろう

三葉虫は，古生代の代表的な動物で，古生代の示準化石のひとつです。節足動物のなかまで，みかけは，現在瀬戸内海にいるカブトガニに似ています。

三葉虫という名まえは，からだがたてに側葉，中葉，側葉と3つの部分に分かれていることから名づけられました。横には，頭胸部，胴部，尾部の3つの部分からできています。脳や胃など重要な部分は，ほとんど頭胸部に集まっています。胴部の側葉の下には，付属肢があって，これで動きまわります。

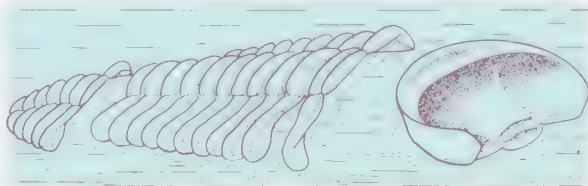
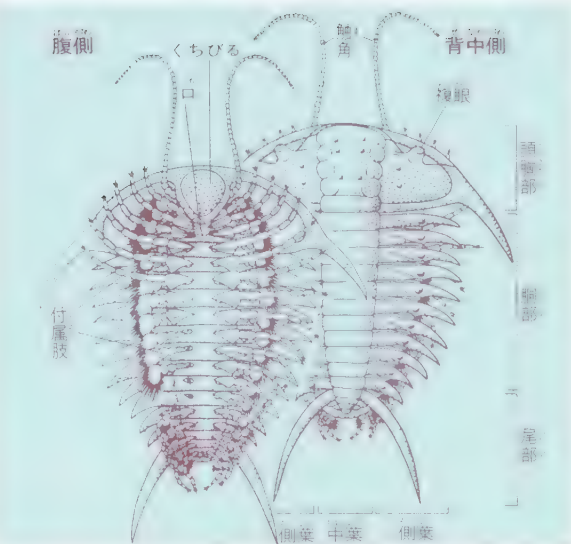
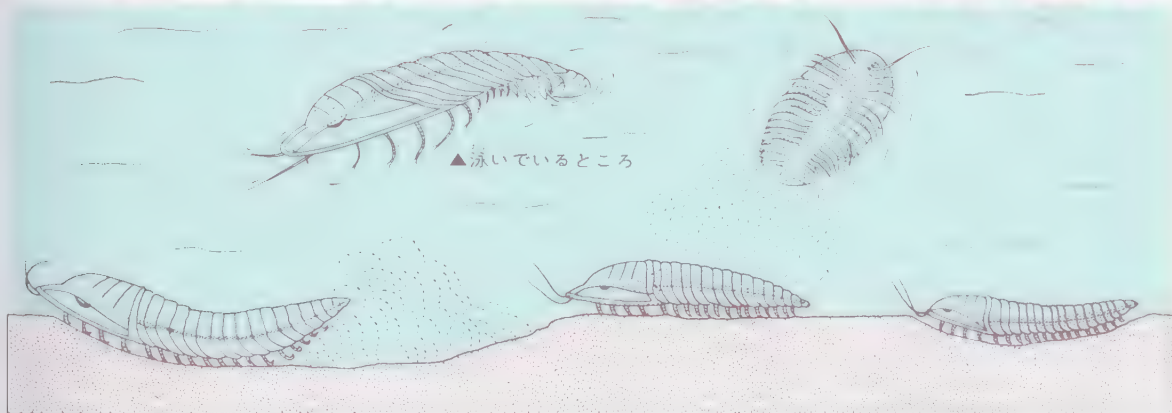
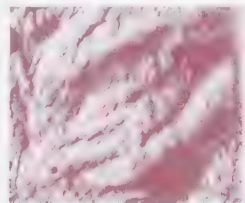
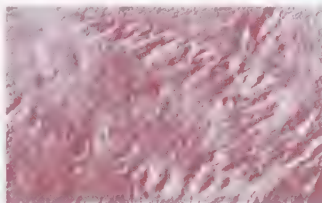
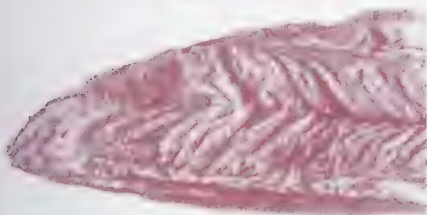
からだの大きさは，長さ数センチのものが多いのですが，なかには数十センチに達したものもいました。形も丸い単純なものから，突起や各節が複雑になったものなど，さまざまな三葉虫が知られています。

●三葉虫のぬけがら

三葉虫は，幼体と成体とではからだの形がちがうので，成長するたびに，かたいからをぬぎすてたようです。化石では，頭，胴，尾がばらばらに見つかることが多いのですが，脱皮したものかどうか区別するのは困難です。

●化石から想像される三葉虫の生活

三葉虫の化石といっしょに，地層の中から不思議な跡がたくさん見つかることがあります。下の左の写真は，どうやら三葉虫がえさをとるために，どろをほったときの跡だということがわかりました。

下の中央の写真は，三葉虫が足をひろげて歩きまわっているときできた跡です。また，下の右の写真の，からだの形を表わすような跡は，おそらく三葉虫が休んでいたときにできたものでしょう。

このような生活の跡が残されているのは，三葉虫がすんでいた場所が，静かな海であったことを示しています。

▲泳いでいるところ

▲えさをさがしているところ

▲歩いているところ

▲休んでいるところ

魚類から両生類へ

古生代のデボン紀は“魚類の時代”とよばれ，世界的に魚類の化石がたくさん出ます。このころは，頭と胴を骨性のよろいでおおった甲冑魚が多く，サメの祖先にあたる軟骨魚類や，タイの祖先の硬骨魚類もあらわれました。とくに硬骨魚類は海ばかりでなく，川や湖，池にも進出し，大きさも，形も，さまざまに変化しました。

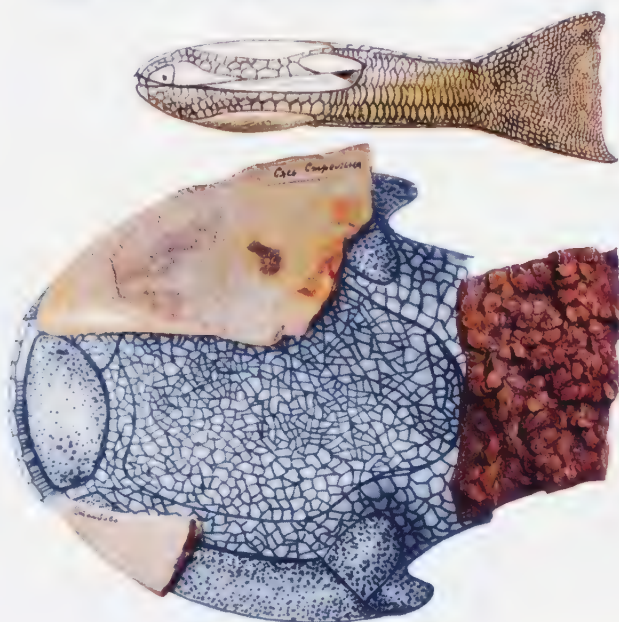
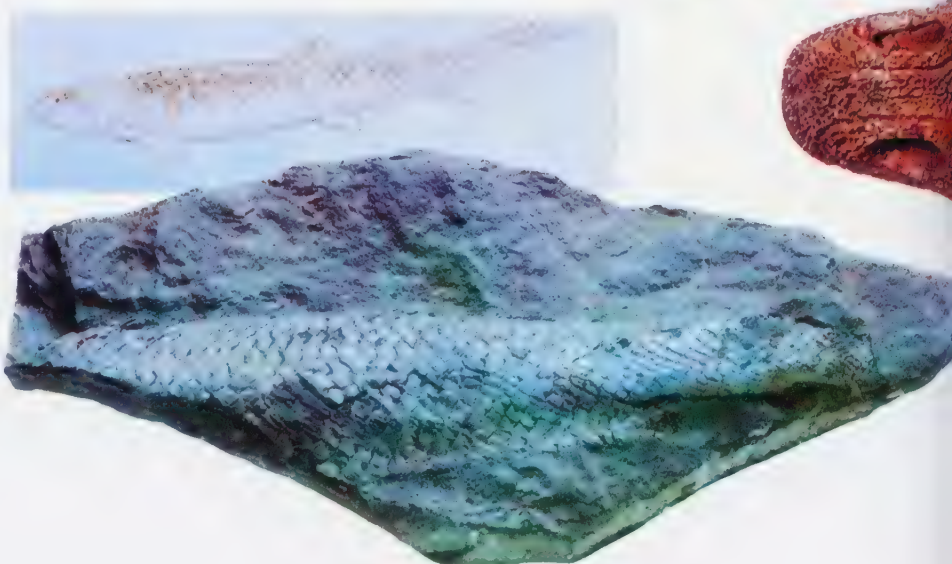
このような魚類の進化のとちゅうで，早くもデボン紀の末には，陸上動物へと進化したものが現われました。最初に陸にあがってきた脊椎動物は，カエルやサンショウウオなどが属する両生類の祖先でした。

日本では，ペルム紀のサメの一種であるヘリコプリオンがいちばん古い脊椎動物の化石です。

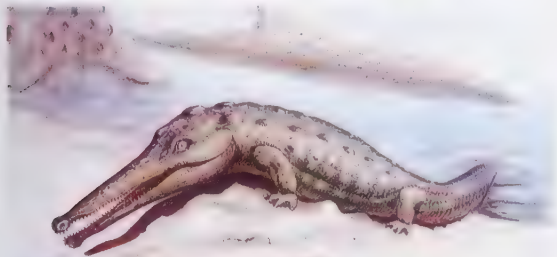
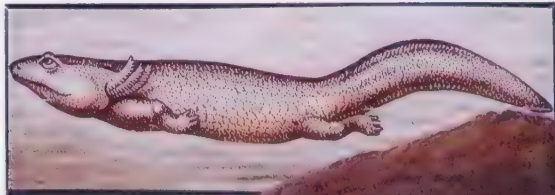
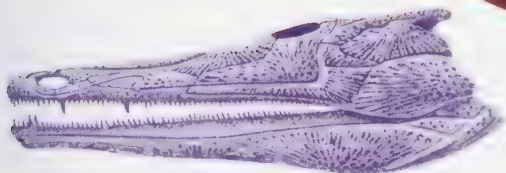
●魚類の化石

最も古い化石は，あごのない魚の化石で，オルドビス紀の地層から出ています。

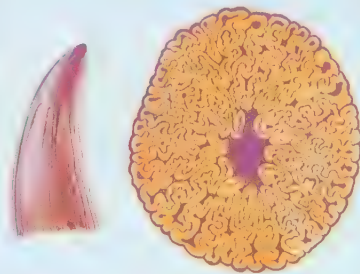
▼**ドレパナスピス**（無顎類）デボン紀　全長約30cm　あごのない魚の一種。デボン紀には，ドレパナスピスのように，からだの表面をかたい甲らでおおった，あごのない魚がたくさん出現したが，デボン紀末にはほとんど全滅した。

▼**ボトリオレピス**（板皮類）デボン紀　全長約30cm　板皮類は，あごをもち，頭と胴の前部を甲らでおおった魚である。ボトリオレピスの胸から出ている付属器は，移動のさいに役立ったのであろう。

▶**オステオレピス**（総鰭類）デボン紀　全長70cm
総鰭類は，デボン紀にはふつうの魚であったが，現在はほとんど死にたえている。オステレオピスのなかまが，両生類の祖先になったと考えられる。オステオレピスは肉食性の淡水魚で，頭の骨は両生類によく似ている。歯の断面も，このころの両生類の歯と似ている

●両生類の化石

最初の陸上動物として知られる両生類は、デボン紀末に現われ、石炭紀のしめった気候のもとで発展しました。ペルム紀には陸生のものが栄え、三畳紀にはふたたび水生の生活にもどりました

▼**プラティオプス**(迷歯類)ペルム紀　このころの両生類は，頭が平べったく，かたい骨でできており，骨の表面にはたくさんの溝が特別な模様をつくっている。プラティオプスは，ワニの子どもほどの大きさで，川や湖にすみ，魚を食べていた

▼**ドビノサウルス**(迷歯類)ペルム紀　全長1.5mに達する両生類。頭の外形はカエルに似ているが，つくりははるかにがんじょうにできている。このようなつくりは，陸に上がったとき，体液の蒸発をふせぐのに効果があったのであろう

▼**ベントスクス**(迷歯類)三畳紀　全長約1mのワニに似た両生類で，水底にすんでいた。三畳紀になると，迷歯類の多くは水中にもどった。おそらく，陸上生活にいっそう適した爬虫類が，両生類を陸地から追い出したのであろう。

●迷歯類の歯

迷歯類の歯の横断面。図のようにエナメル質がいちじるしく入り組んでいて，複雑な迷路状の構造をしている。このような歯を迷路歯(ラビリントドント)とよぶ

魚類のオステオレピスも，このような歯をしていた

●脊椎動物のはじまり

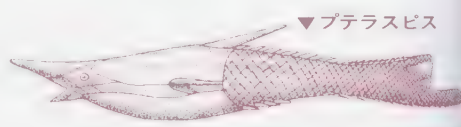
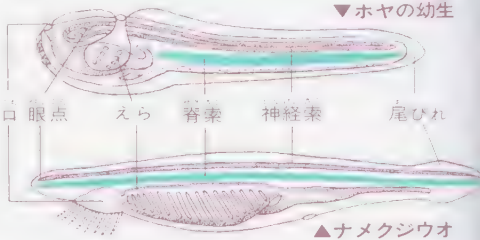
背骨をもった動物の祖先はどんなものかよくわかりませんが，現在のナメクジウオやホヤの子ども（幼生）のようなものだったと考えられています。これらの動物は，背骨（脊柱）のかわりにからだを支えるための脊索というものがあって，脊索の背側に神経索ができる動物です。えらももっており，これが水中から酸素をとったり，海底のどろの中から食物をとりこむふるいの役目をしています。このように，ナメクジウオやホヤの子どもは，からだの構造が脊椎動物のからだのしくみと近いのです。5億年以上も前の原生代には，このような脊索をもった動物がたくさんいました。やがて，それらから脊柱をもった動物が進化したと思われます。

●魚類の発展

いちばん古い脊椎動物の化石は，今から4億5000万年ほど前のオルドビス紀のもので，あごのない魚（無顎類）でした。この無顎類のなかまは，顎骨も，対になったひれもなく，背骨は軟骨でできていました。無顎類の大部分は，水底付近をかきまわしながら，水やどろといっしょに小さい無脊椎動物を吸いこんでは食べていました。このような無脊椎動物に近い，あごのない魚の中に，あごをもった魚の祖先がいたかどうかは，よくわかっていません。

魚類の大部分は，今から3億年前には現われています。それらのうち硬骨魚類の中の条鰭類（現在の大部分の魚）のグループは，現在まで引き続き栄えていますが，2億年ほど前までに絶滅してしまったグループもたくさんいました。

▶ホヤは水底にくっついたまま，2本の水管で水を出し入れし，食物をこしとって食べている動物であるが，その幼生（子ども）は下の図のようなからだのしくみをしている。

▼ホヤの幼生

▲ナメクジウオ

▼プテラスピス

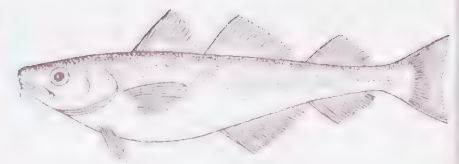
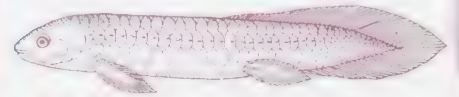
▲ホヤやナメクジウオは無脊椎動物であるが，からだのしくみは，最古の脊椎動物であるプテラスピスなどとそれほどちがわない。

▼デボン紀の魚の群れ　絵の左側にいる3びきの魚は，肉食性の総鰭類で，上がホロプテキウス，下の2ひきがユーステノプテロン。中央のどろの上をはっている3びきの魚は，無顎類のブサンモレピス，右上すみにいる2ひきは草食性の肺魚類ディプテルス，その下の藻の中にいるのは，肉食性の板皮類コッコステウスである。中央の小さな魚の群れは板皮類のボトリオレピス。

●魚類から両生類へ

魚から陸上の動物になるためには，さまざまなからだの変化が必要です。呼吸の方法を変えることや，泳ぐことをやめて歩くことが必要になります。デボン紀にいたユーステノプテロンという魚は，現在の肺魚やラチメリア(シーラカンス)に近い魚です。ユーステノプテロンのひれは，ひれ足といわれるほど筋肉が発達していて，からだのつくりが陸の動物とよく似ています。

いっぽう最古の両生類の化石は，デボン紀の終りごろに現われたイクチオステガです。イクチオステガは，四肢がよく発達していて地上を歩けるようになっていましたが，脊椎骨や尾などは，まだ魚に似た構造をしていました。

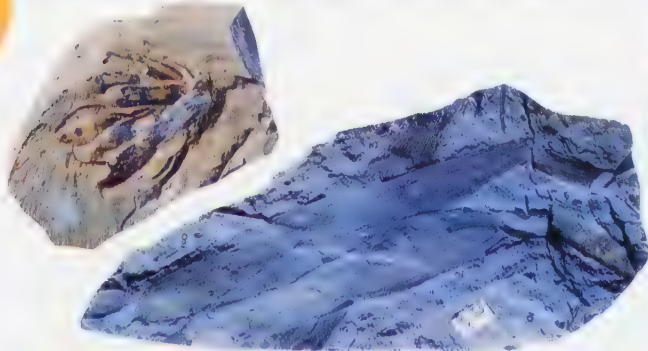
動物が，なぜ水中から陸に上がっていったかということについては，いろいろな考えがありますが，まだ化石の上からはたしかめられていません。

▲条鰭類のタラのひれ　われわれが目にする大部分の魚のひれは，これと似たしくみである。

▲▼肺魚(上)とユーステノプテロン(下)のひれ　ひれ全体が自由に動き，しかも筋肉がひれの中までのびているので，からだを支えるように動かせた。

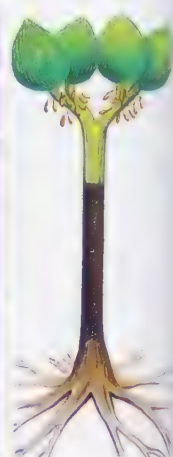
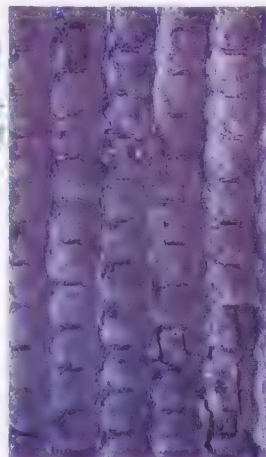
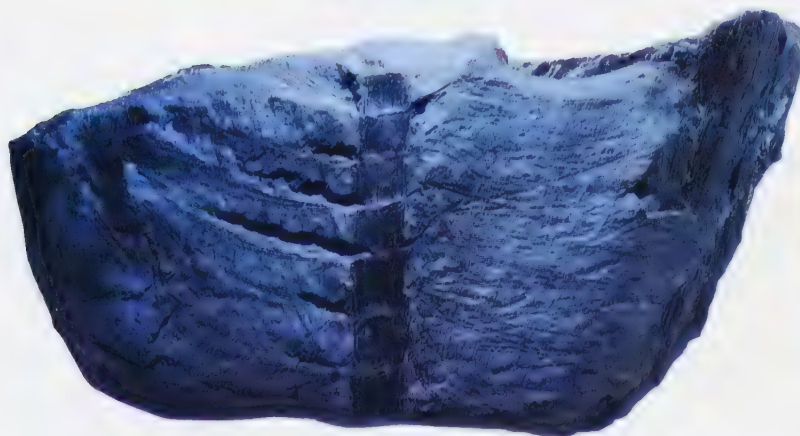
▼ペルム紀の両生類エリオプスの骨格

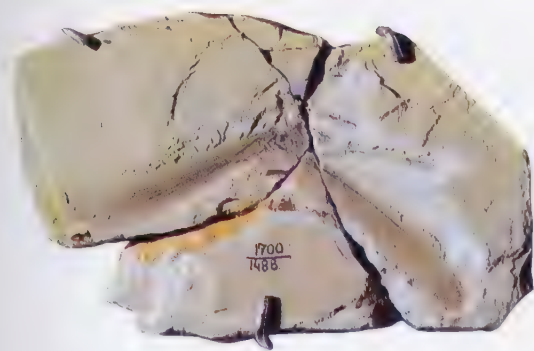
▼目で見る魚類の歴史

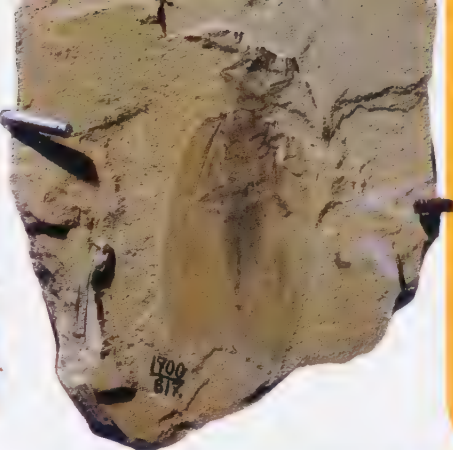
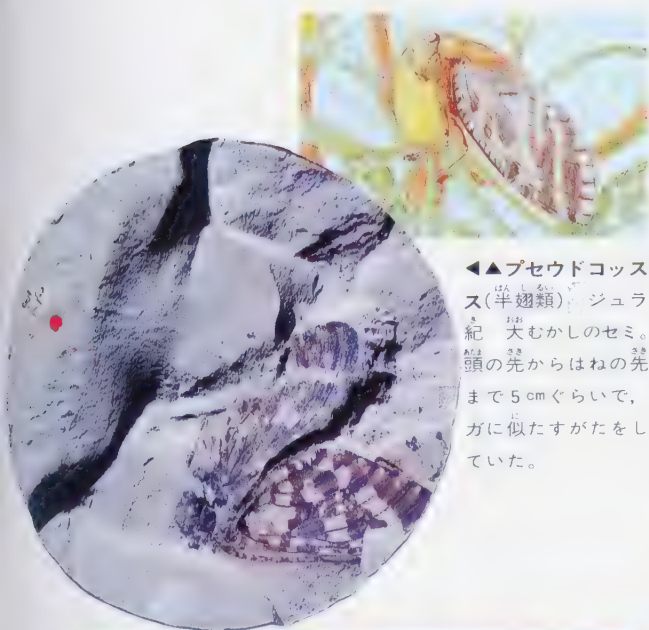
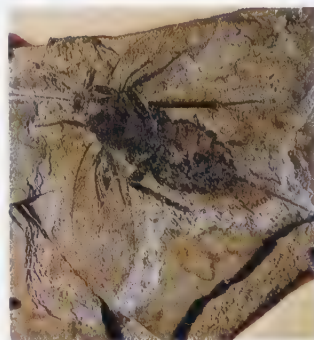
陸上植物と昆虫の出現

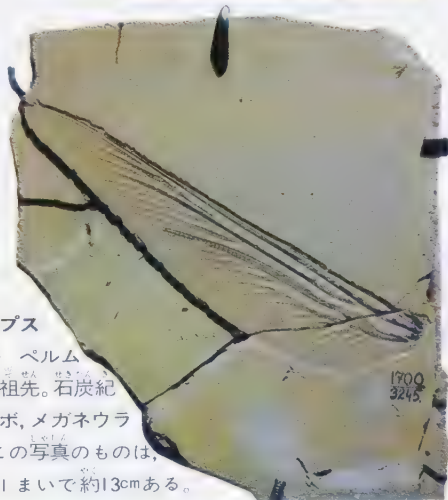
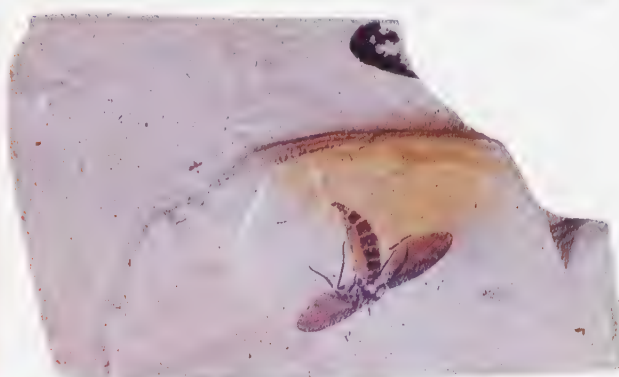
生命は海で発生し，カンブリア紀までのあらゆる生物は海の中にいました。カンブリア紀の海にいた緑ソウのなかまのうちから，水陸両生のコケのようなものが現われ，シルル紀には最初の陸上植物が出現しました。最初の陸上植物であるリニア類はまだ根も葉もない原始的なシダ植物でしたが，石炭紀には，シダ植物の大森林が地上をおおうまでになりました。

植物が上陸するとまもなく，動物も陸に現われました。上陸した無脊椎動物は，巻貝やクモや昆虫などでしたが，なかでも昆虫のなかまが栄えました。

▲▶コルダイテス（裸子植物）　石炭紀～ペルム紀　マツやスギのような針葉樹の祖先と考えられる植物で，石炭紀には，高さ30ｍ，葉の長さ１ｍにもなった。上の写真で，左は種子，右は葉。

▲シギラリア（シダ植物）　石炭紀　フウインボク（封印木）ともいう。高さ30～40ｍの大木で，レピドデンドロンやカラミテスなどとともに石炭紀の大森林をつくった。幹の表面の模様に特徴があり，六角形やひし形，円形のものなどが見られる。

▶キカデオイデア（裸子植物）　三畳紀～白亜紀　美しい花がさく恐竜時代の代表的な植物。日本でも，北海道や四国などからたくさん見つかっている。

▲ネオカラミテス（シダ植物）　三畳紀～ジュラ紀　トクサのなかま。石炭紀のカラミテスは幹の直径２ｍに達したが，その後どんどん小形化し，ネオカラミテスは約10cm，現在のトクサは１cm以下である。三畳紀。山口県産。

▲クラドフレビス（シダ植物）　三畳紀～白亜紀　世界じゅうでたくさん見つかる中生代の代表的植物。三畳紀。山口県産。

▲▼ピネギア(原直翅類)　ペルム紀　コオロギの祖先。頭からはねの先まで6cmほどの大きさ。下の図は，その復元図。

▲シルビオデス（原直翅類）　ペルム紀　ゴキブリの祖先。体長5cmほど。上の左はその復元図。

▶カラタボブラッタ（ゴキブリ類）　ジュラ紀　産卵管をもったゴキブリで，乾燥にもたえられるように，卵を木や地面の中に産んだ。

◀▲プセウドコッスス(半翅類)　ジュラ紀　大むかしのセミ。頭の先からはねの先まで5cmぐらいで，ガに似たすがたをしていた。

▶アークトテプス（原トンボ類）　ペルム紀　トンボの祖先。石炭紀の巨大なトンボ，メガネウラのなかまで，この写真のものは，はねの長さが1まいで約13cmある。

▲ハリアリの一種(膜翅類)　更新世　1973年に岐阜県瑞浪市の道路工事現場から見つかったコハクにはいった昆虫の化石。このほかに，ハチやカ，トビムシ，ハエなどが見つかった。

▲キノコバエの一種(双翅類)　更新世　栃木県塩原町からは，木の葉や魚などの化石にまじって，昆虫の化石もたくさん見つかっている。上の写真もそのひとつである。

● 最初の陸上植物

海ソウは，海水にふれるすべての部分から水や養分をとりこみます。陸上植物は，水や養分を根からとります。根からとった水や養分は，茎を通ってからだの各部にはこばれます。このように陸上植物になると，根や茎，葉などのきまった役めをもったものが必要になります。

最初の陸上植物であるリニア類には，まだ根や葉がありません。しかし，茎には水や養分をはこぶ通路，つまり維管束（道管などのたば）があります。リニア類は，地下茎で水や養分をとり，それを茎を通して地上の各部へはこぶしくみをもった植物でした。これ以後のすべての陸上植物には，水や養分をはこぶ維管束がそなわりました。

● 陸上植物の発展

リニア類は，枝の先にあるふくろの中の胞子によってふえるシダ植物です。茎の太さは5㎜ほどですが，石炭紀には太さ2ｍ，高さ30ｍにもなるレピドデンドロンやシギラリアなどのシダ植物が，地上をおおいました。

また，石炭紀には，コルダイテスのような種子でふえる裸子植物も現われました。ペルム紀になると，気候が乾燥し，巨大なシダ植物にかわって，コルダイテスやイチョウのような裸子植物がふえてきました。

花びらをもった花をさかせる被子植物は，白亜紀に現われました。現在は，モクレンやカエデ，イネのような被子植物の全盛時代といえます。

▲イチョウの葉の変化　イチョウのなかまの葉は，三畳紀のバイエラ（上左の写真）やギンゴイテス（上右の写真）から，今のイチョウ（上の写真）のように変わってきました。

シルル紀	3億9500万年　デボン紀	3億4500万年　石炭紀	2億8000万年　ペルム紀
	トヒムシの先祖	スティノディクテア フロディア（カゲロウの先祖）	シルビオテス（ゴキブリの先祖） ピネギア（コオロギの先祖）
緑ソウ	リニア プシロフィトン	レピドデンドロン（リンボク） カラミテス（ロボク） シギラリア（フウインボク） コルダイテス	ワルキア アラウカ プサロニウス

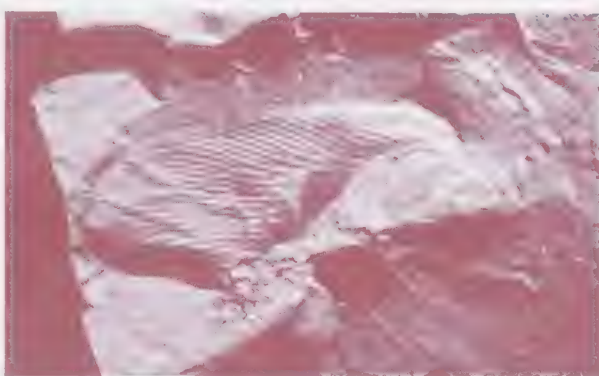
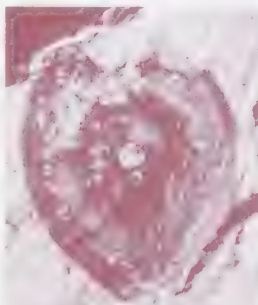
●昆虫の出現

最も古い昆虫の化石は，デボン紀のトビムシです。このトビムシのように，はじめのころの昆虫には，はねがありませんでした。昆虫のはねは，胸の部分の体節が横にのび，発達したものと考えられています。石炭紀には，はねをもった昆虫がたくさんいました。その中で，ペルム紀にほろんだ古網翅類のステノデクティアは，４まいのはねのほかに，もう２まいの小さいはねのようなものがあります。はじめのころの昆虫には，このように６まいばねのものもいたのかもしれないといわれています。

●昆虫の発展

石炭紀には，古網翅類のほかに，ゴキブリ，カゲロウ，トンボ，キリギリスなどの祖先が現われています。トンボの中には，有名なメガネウラのように，はねのはしからはしまで60cmをこすものもいました。これらの昆虫は，どれもさなぎの段階をへないで親になる不完全変態の昆虫です。しかし，乾燥した気候で，寒冷だったペルム紀から三畳紀にかけて，脈翅類や甲虫類のような完全変態の昆虫もでてきました。被子植物が現われた白亜紀には，チョウやハチなど，花の蜜をすう昆虫が見られました。白亜紀の後期には，ミツバチやアリのような，社会生活をする高等な昆虫もすがたを見せています。

下の図は，これまでにとりあげてきたような，植物や昆虫の発展のありさまをかんたんに示したものです。

▶▼コルダイテスの枝にとまっているカゲロウに似たプロディアの復元図。下の写真は，昆虫にあなをあけられたコルダイテスの実。

▲日本最古の昆虫　山口県大嶺炭坑から見つかった三畳紀のゴキブリのはねの化石。

三畳紀　1億9000万年　ジュラ紀　1億3600万年　白亜紀　6500万年

プセウドコッスス（セミの先祖）

カリクランマ

アナクシェラ（ハチの先祖）

スフェコミルマ（アリの先祖）

ハレオキカス

ウイリアムソニア

イチョウ

キカデオイデア

モクレン

イネ

プレウロメイア

エクイセチテス

ネオカラミテス

爬虫類のはじまり

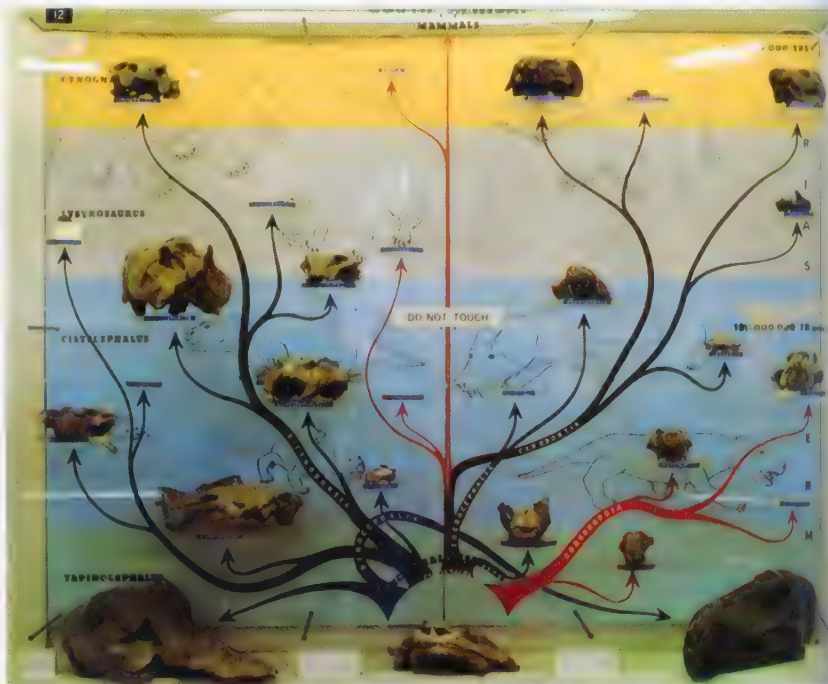
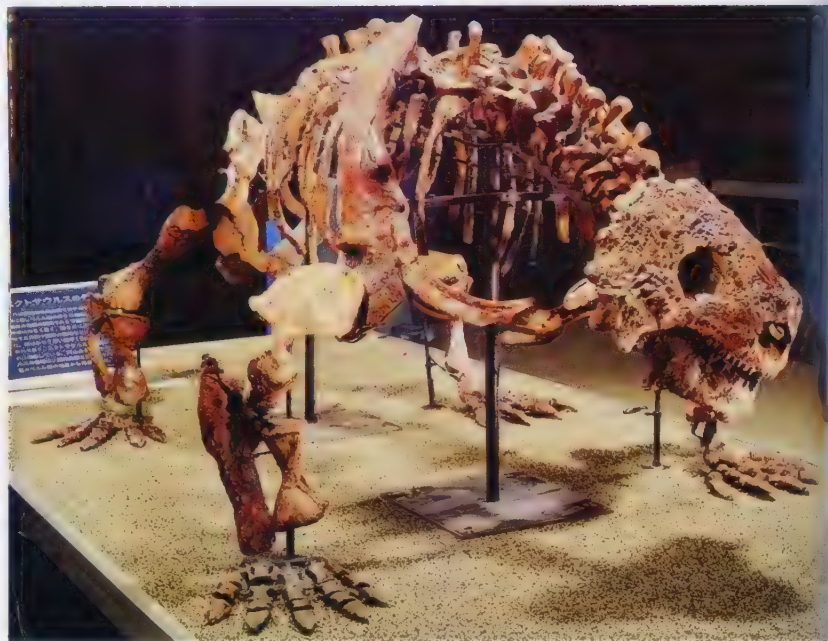
脊椎動物は、肺で呼吸し、皮ふが乾燥にたえられるようになり、ひれが足にかわったことから、陸上動物への第1歩をふみ出しました。

さらに、爬虫類になると、殻つきの卵を産むようになります。爬虫類の卵は、水がまったくなくても、ふ化できるしくみになっています。そのため、爬虫類は、卵を産むたびに水べへもどる必要がなくなり、完全に陸地での生活ができるようになりました。

最古の爬虫類の卵の化石はペルム紀のものですが、すでに石炭紀には爬虫類がいました。ペルム紀にいたセイムリアは両生類の頭と爬虫類のからだをもったような動物で、最初の爬虫類はこのようなものだったろうと言われています。初期の爬虫類の中で重要なグループは、セイムリアが属した杯竜類と哺乳類型爬虫類のなかまです。

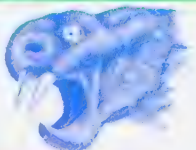
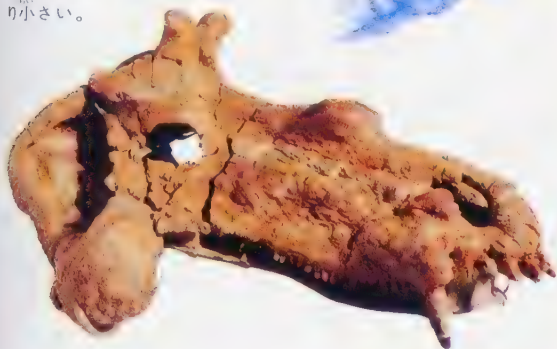
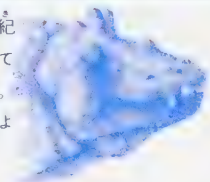
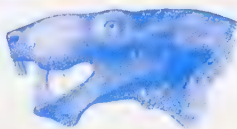
▶**哺乳類型爬虫類** わたしたち人間をふくめて、哺乳類の祖先をたどっていくと、哺乳類に似た爬虫類（哺乳類型爬虫類）とよばれる変わった動物たちにたどりつく。この類は石炭紀に現われ、ペルム紀に栄え、恐竜たちが活躍したジュラ紀の中ごろにほろんだ。

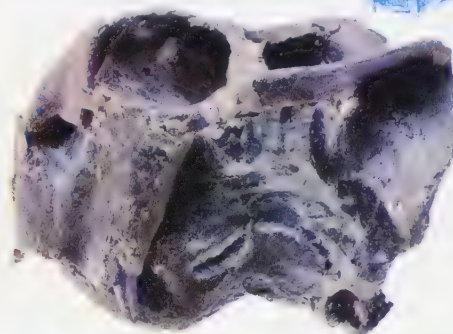
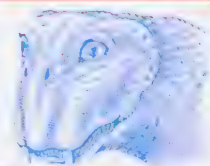
哺乳類型爬虫類は爬虫類でありながら、いろいろな点で哺乳類に似ていた。歯が、ふつうの爬虫類のように同じような形のものがならんでいるのではなく、切歯、犬歯、臼歯というように分化していることなどは重要な点である。

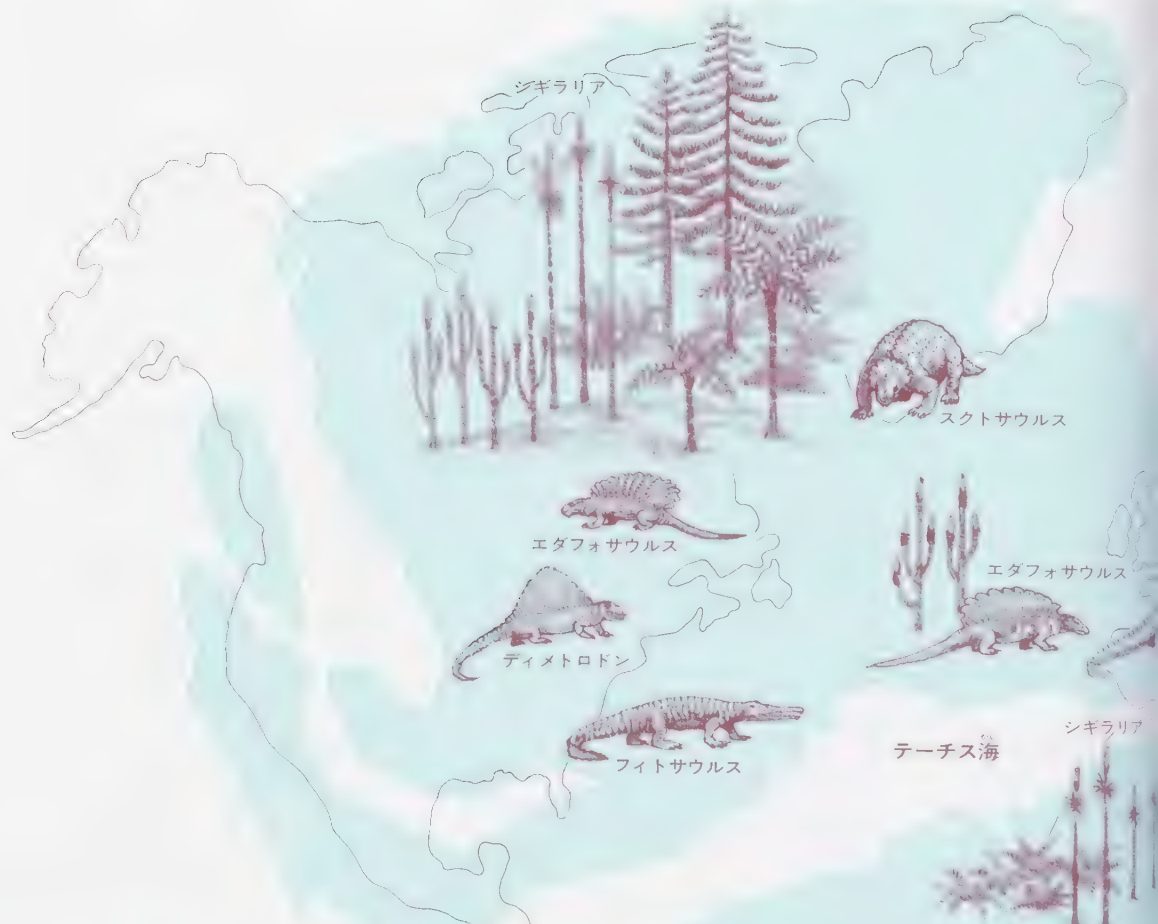
哺乳類型爬虫類は世界じゅうに広く分布していたが、この類の分布は、古生代の陸地のありさまを証明する重要な証拠になっている。南アフリカは、哺乳類型爬虫類進化の中心地のひとつでヨハネスブルグの大学には、右の図のような系統図がかかげられている。

▲▶**スクトサウルス**（杯竜類）ペルム紀 全長約2.7m 東ヨーロッパの北ドビナ地方にいた大形の草食性爬虫類 恐竜をふくむ大部分の爬虫類の祖先にあたる杯竜類の一種。からだは、肉食動物から守るためかたい皮ふ状の背板でおおわれていた。上の図で下がスクトサウルス、上はイノストランケビア。

●ふたつの大陸と動物たち

ペルム紀のころ，地球上には，北にローレンシア，南にゴンドワナという大きな大陸がありました。哺乳類型爬虫類は，それぞれの大陸で似たようななかまを発展させました。とくにソ連のドビナ地方と南アフリカからは，おびただしい量の哺乳類型爬虫類の化石が見つかっています。ここでは，そのうちのおもなものを見てみましょう。

ローレンシア大陸

▼ディキノドン　ペルム紀～三畳紀
ネズミからサイくらいまで，いろいろな大きさのものがいた。カメのようなくちばしと上あごの牙が特徴。

▼エステムメノスウクス　ペルム紀
カバのように水陸両生の生活をしていた，体長 4.5ｍもある草食動物。頭の突起が特徴で，脳はクルミの実より小さい。

▼イノストランケビア　ペルム紀
強力なあご，短剣のような犬歯をもつ肉食動物。体長3ｍもあり，スクトサウルスなどを食べていたらしい。

ゴンドワナ大陸

▼リストロサウルス　三畳紀　ディキノドンの一種。ゴンドワナ大陸に広く分布していた。水べにすんでいた，体長50cmぐらいの草食動物。

▼ケラトケファルス　ペルム紀　南アフリカにいた，いかにも重おもしい骨格をした草食動物。エステムメノスウクスに近い動物で，頭に突起がある。

▼ゴルゴノプス　ペルム紀　南アフリカにいた肉食動物。イノストランケビアとともに，哺乳類型爬虫類の中でもより哺乳類に近づいたグループで，軽快なからだつきをしており，すでに門歯，犬歯，臼歯の区別もできていた。

ペルム紀から三畳紀の世界

ペルム紀から三畳紀にかけて，地球上にはテーチス海という大きな海をはさんで，北にローレンシア，南にゴンドワナという大陸が発達していました。大陸内部は暑くて，かわいた砂ばくが広がっていました。南半球には大氷河が現われました。

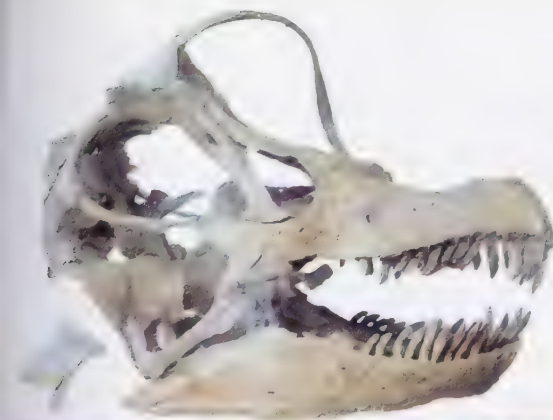
生物の世界も変化しました。古生代に栄えた三葉虫をはじめとする多くの生物がほろび，アンモナイトやオウムガイなどが栄えてきました。植物はかわいた気候にも強いコルダイテスなどの裸子植物がふえてきました。また，南半球では，グロッソプテリスのように寒い気候にもたえる植物が栄えました。

陸地が広がったペルム紀には，両生類よりも爬虫類のほうがより代表的な陸の動物でした。その爬虫類の中では，なんといっても，今の哺乳類のはるかに遠い祖先にあたる，哺乳類に似た動物，つまり哺乳類型爬虫類が栄えていました。

この時代の生物の分布を見てみると，まず南アフリカと南アメリカに，共通したものが多いことに気づきます。たとえば，リストロサウルスの化石は南アフリカにも南アメリカにも見られます。またインドや南極大陸からも見つかっています。これらの事実は，ゴンドワナ大陸があったことを証拠づけています。

恐竜の時代

三畳紀という時代は，地球上にこれからはじまろうとしている大ドラマの幕明けの時代です。だれもがよく知っているあの不思議な動物，恐竜たちの直接の祖先であるテコドント(槽歯類)などが現われました。

つぎのジュラ紀から白亜紀は，まさしく恐竜の時代というのにふさわしく，さまざまな，恐るべき動物たちが登場してきました。恐竜たちは1億6000万年もの長い間，地球上を支配しました。恐竜とは，絶滅した陸の爬虫類のことですが，このころの爬虫類の中には，空へ進出したり，海の生活へもどるものも現われました。また，ジュラ紀には爬虫類ばかりでなく，鳥類や哺乳類の祖先もすがたを見せました。(下の絵はジュラ紀の復元図です。)

◀**ブラキオサウルスの頭と脳の化石**　北アメリカと東アフリカのタンザニアからは，ジュラ紀のブラキオサウルスの化石が知られている。ブラキオサウルスは，下の絵のアパトサウルス(ブロントサウルス)に似た恐竜である。体長はアパトサウルスより短いが，それでも24ｍをこえる。体重は50トンはあったものと思われ，史上最も重い陸上動物であった。

東ドイツのベルリンの博物館にある標本は，足先から頭までの高さが12ｍあり，頭の骨(左の写真)はひとかかえもある。しかし，鼻の部分の骨のしくみは弱よわしい。脳も大きなからだにくらべてとても小さい。

こんな大きなからだをどうして動かしたか，いまでもよくわからないことがたくさんある。

シソチョウ
(始祖鳥，鳥の祖先)

オルニトレステス
(小形の肉食恐竜)

ステゴサウルス
(草食恐竜)

●恐竜はどうして発見されたか

わたしたちは，生きている恐竜を見ることはできません。恐竜は，地層に残された化石をもとに，現在生きている動物をも参考にして，学問的に復元したものです。今はまったく見られない動物たちのすがたを復元することは，たやすいことではありません。かつては，化石が不完全だったために，学者でさえもなんども誤りをおかしてきました。

▲中央アメリカや南アメリカにいるイグアナ。頭から尾の先まで1.5m

▲イグアナの歯　▲イグアノドンの歯

●最初の発見

今から150年もむかし，イギリスの牧師ウィリアム＝バックランドは，ストーンフィールドで発見された大きな動物の背骨の化石を研究していました。1824年に，かれは，この化石を巨大なトカゲと考え，メガロサウルスと名づけました。また，有名なフランスの解剖学者ジョルジュ＝キュビエも，この化石を調べて，メガロサウルスは全長10m以上もあり，ゾウと同じぐらいの体重であったと考えました。こうして，最初の恐竜メガロサウルスは，なんなく古代のトカゲ類の化石として受け入れられました。

●イグアナのような恐竜

1822年のこと，イギリスの医者ギデオン＝マンテルは，奥さんをつれて往診に出かけました。夫人はマンテルをまつ間に，道路修理用の石の中から不思議な歯の化石を見つけました。この化石を調べたキュビエは，サイかカバの化石だろうといいました。マンテルはキュビエの考えに疑問をもち，いろいろな動物と比較したうえ，イグアナというトカゲの歯に似ていることを発見しました。1825年にマンテルは，この動物をイグアノドンと名づけました。右図を見ると，マンテルのイグアノドンは巨大なイグアナだったことがわかります。

▲マンテルが復元したイグアノドン。頭の角は本当は手の指だった。

●ゾウのような恐竜

1841年，イギリスの動物学者リチャード＝オーウェンは，それまでに発見されていたメガロサウルス，イグアノドン，ヒレオサウルスをひとつにまとめ，ほかのトカゲやワニなどのグループと区別し，ダイノサウリア(恐竜)とよぶように提案しました。これは“恐ろしいトカゲ”という意味です。

オーウェンは，恐竜をトカゲのようにほっそりしたものではなく，ゾウに似たがっしりした動物だと考えました。この考えはかれの指導で作られたイグアノドンの復元像によく示されています。

▲オーウェンが指導し，第一回万国博覧会用に作られたイグアノドン像。

●アメリカでの発見

マンテルやオーウェンの考えがちがっていたことは，やがてアメリカから発見された恐竜の化石によってわかりました。1884年に，アメリカのニュージャージー州で発見された恐竜には，はじめて前後の足がそろって見つかりました。この恐竜ハドロサウルスは，イグアノドンに近い種類です。

●カンガルーのような恐竜

ハドロサウルスを研究したアメリカの解剖学者ジョゼフ＝リーディは，ハドロサウルスの後ろ足が，前足にくらべて２倍近くも長いことに注目しました。かれは，恐竜は２本足で立ち，カンガルーのようなからだのしくみだったのではないかと考えました。リーディの考えは，エドワード＝コープによって発見された別の肉食恐竜ラエラエプスによってうらづけられました。ラエラエプスの前後の足の長さのちがいは，ハドロサウルスのそれよりさらに大きかったのです。

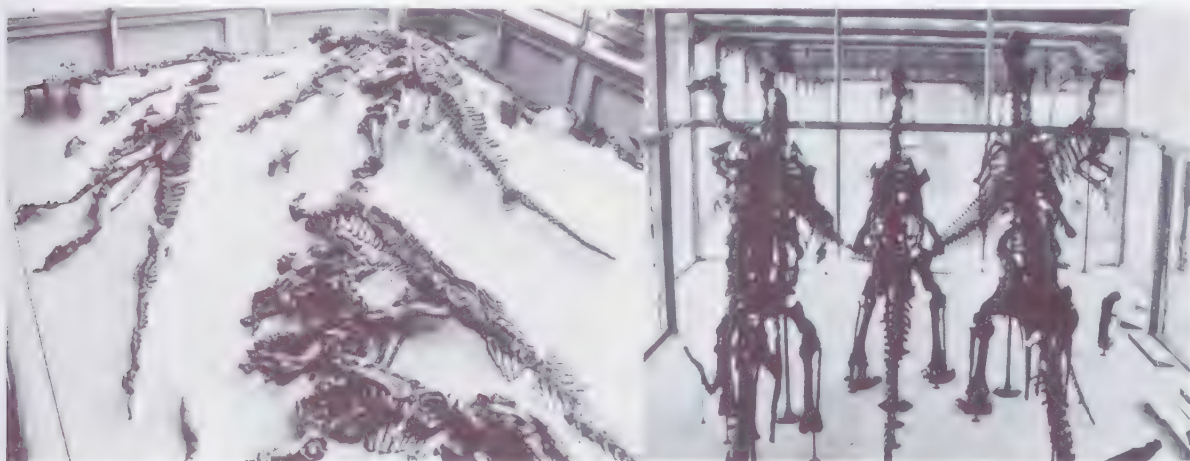
▲カンガルーの一種ワラビーの骨格

◀コープによるラエラエプスの復元図

●イグアノドンの墓場

イグアノドンが２本足で立っていたという考えは，1878年に，ベルギーのベルニサール炭鉱から化石が発見されて，完全にたしかめられました。地下300ｍのところで発見されたイグアノドンは，全部で31頭分もあり，頭から足先までひとつながりになった完全な化石も何頭か見つかりました。

現在このイグアノドンは，ベルギー王立自然史博物館に展示されています。10体の組み立てられた骨格と何体も折り重なるようにたおれているイグアノドンの産状を示す展示には，思わず息がとまるほどのおどろきを感じます。

▲ゲルハルト＝ハイルマンによる，２本足で走るイグアノドンの復元図

▲ベルニサール炭鉱から見つかったイグアノドンの産状(左)と，組み立てられた骨格(右)。

●恐竜たちの世界

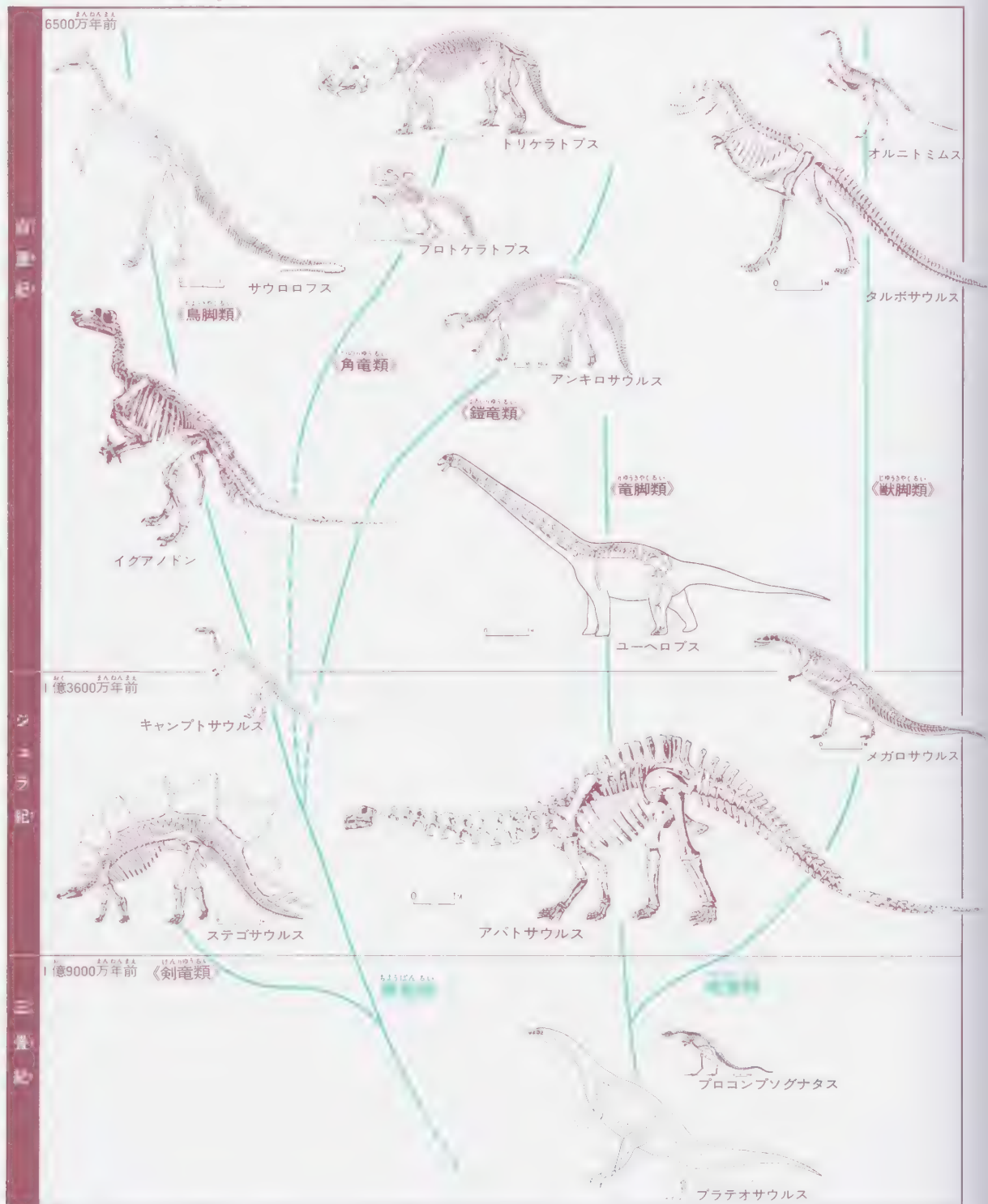
恐竜時代の動物の分布を調べてみると，思わぬところにも分布していて，その範囲がひじょうに広いことにおどろきます。（この図はジュラ紀から白亜紀にかけての分布を示しています。）

北極に近いスピッツベルゲンからもイグアノドンが発見されています。このことから，当時の気候は，北極近くまであたたかであったと考えられます。

また，ブラキオサウルスのなかまはアフリカ，北アメリカ，ヨーロッパから，ステゴサウルスのなかまはアフリカ，北アメリカ，ヨーロッパ，アジアから見つかっています。このように，別べつの大陸から同じ種類の陸にすむ恐竜が発見されるということから，むかしは各大陸がつながっていたと考えられます。何十トンもある巨大なブラキオサウルスが，アフリカから北アメリカまで歩きまわっていたなどと，想像するだけでも雄大な話ではありませんか。

イチョウ
イグアノドン
プリオサウルス
イチョウ
アロサウルス
ウィリアムソニア
プシッタコサウルス
ランフォリンクス
イクチオサウルス
アパトサウルス
プレシオサウルス
イクチオサウルス
イグアノドン
プテロダクチルス
ブラキオサウルス
プレシオサウルス
ボトリオスポンディルス
オルニトレステスのなかま
イクチオサウルス

恐竜の進化と系統

恐竜は三畳紀のはじめに出現した槽歯類から進化してきました。恐竜が現われたのは三畳紀後半です。恐竜は，骨盤をつくっている3つの骨の組み合わせによって，鳥盤類と竜盤類に分けられます。鳥盤類は草食の恐竜で，背中によろいをもった鎧竜類，頭に角をつけた角竜類，２本足で歩く鳥脚類などの系統があります。竜盤類には４本足で歩き，草食に変化した竜脚類もありますが，獣脚類とよばれる，２本足で歩く肉食の恐竜が主流です。下の図の恐竜はほんの一例ですが，あとで角竜類と鳥脚類をさらにくわしくみることにしましょう。

●恐竜の卵

今から50年前，アメリカの中央アジア探検隊は，ゴビ砂ばくの“炎の崖”でたくさんの卵の化石を見つけました。卵といっしょに多数のプロトケラトプスが発見されたため，その卵だろうと考えられました。これが最初に発見された恐竜の卵です。今ではいろいろな恐竜の卵が発見されていますが，まだどの恐竜がどんな卵を産んだかはよくわかっていません。ここでは，恐竜の卵とほかの動物の卵をくらべてみましょう。下の図で，卵と動物はそれぞれ実際の大きさのおよそ5分の3，80分の1になっています。恐竜は比較的小さな卵を産んで，大きく育ったことがわかります。

▲卵の殻をかぶっている，生まれたばかりのプロトケラトプスの子ども(模型)。

▼カメの卵

◀ワニの卵

ニワトリの卵▶

▼竜脚類恐竜の卵(化石)

▼鳥脚類恐竜の卵(化石)

●肉食恐竜――タルボサウルス

タルボサウルスは，白亜紀の後期，今からおよそ8000万年前にいた，体長10ｍにもなる史上最大の陸生肉食動物のひとつです。強力な２本足と尾で立ったすがたは，草食の恐竜たちにとって恐ろしい相手でした。タルボサウルスは中央アジアにいました。同じころ，北アメリカにいたチラノサウルスは，タルボサウルスとよく似ています。

◀タルボサウルスの上あごの歯　するどくとがったナイフのような歯がならんでいる。歯が折れたり，へったりすると，新しい歯が，次つぎに奥から出てくる

▼タルボサウルス(左)と鳥(右)の足　タルボサウルスの足の指は３本で，鳥と似ている。ともに指先は開き，かぎづめのようになっていて，えものをおさえつけるのに適している。

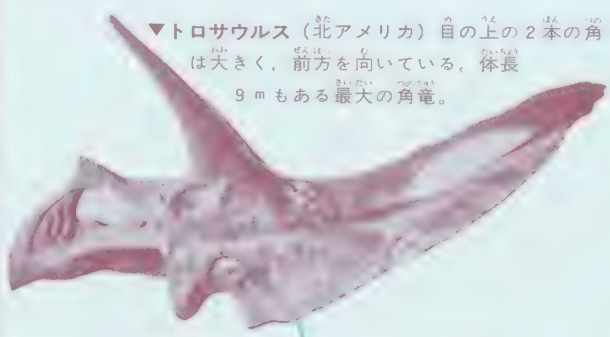
●草食恐竜——サウロロフス

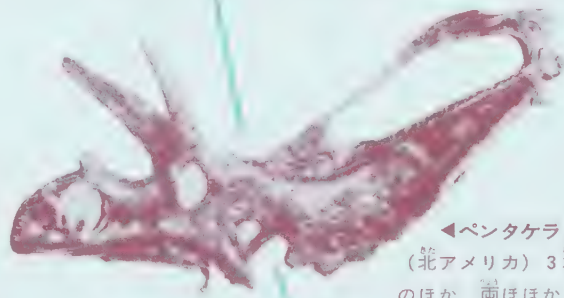
サウロロフスも白亜紀後期の恐竜で，この時代の草食のなかまでは最大級の恐竜です。体長10mをこし，体重はおそらく4トンはあったでしょう。サウロロフスのからだには，身を守るしくみは何もありませんが，強力な尾を使って泳いだり，水中に沈んでかくれることができました。頭の上には奇妙なとさかがあり，足には水かきをもっていました。

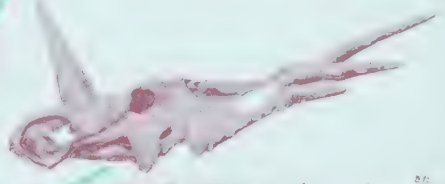
▲**サウロロフスの下あご**　ひし形の木の葉のように見えるのが1本の歯である。上下のあごに2000本もの歯があって，使っている歯がすりへると，次つぎに新しい歯がおし出されてくる。

▼**サウロロフス(左)とバク(右)の足**　サウロロフスの指先は，カバやバクのように先の広がった形をしている。大きなからだで沼地にはいっても，沈まないようにできていた。

●角竜のいろいろ

角竜は，恐竜の中で最もおくれて現われたグループです。角竜の祖先に近いプシッタコサウルスは，２本足の恐竜ですが，最も古い角竜であるプロトケラトプスは，４本足で歩きました。プロトケラトプスは体長２ｍほどでしたが，だんだん大きくなり，トリケラトプスでは体長７ｍ，体重８トンにも達しました。また，しだいに角が発達し，頭骨のふちが首をおおうように広がっていきました。角竜のサイを思わせるような角と，鳥のようにするどい口ばしは，開けた土地にすむ大形の恐竜にとって，身を守る重要な武器だったことでしょう。

▼トロサウルス（北アメリカ）目の上の２本の角は大きく，前方を向いている。体長９ｍもある最大の角竜。

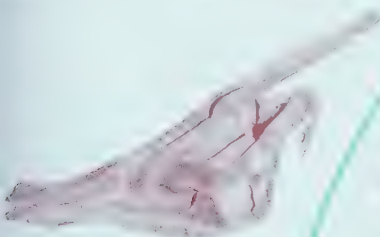
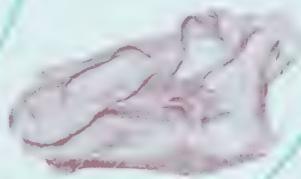
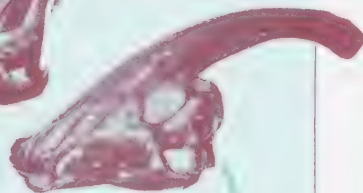
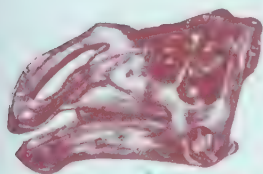
▲トリケラトプス（北アメリカ）頭の大きなひだにはあながない。祖先に１本角のモノクロニウスがいた。

◀ペンタケラトプス（北アメリカ）３本の角のほか，両ほほからも角状のものがつき出ていた。

▲カスモサウルス（北アメリカ）３本の短いがんじょうな角がある。

▲スティラコサウルス（モンゴル，北アメリカ）角竜の中では変わりもので，鼻の上の角が大きく，ひだからは６本の突起がつき出ていた。

▶プロトケラトプス（モンゴル）角が未発達の原始的な角竜。北アメリカにもこれと似たものでレプトケラトプスがいた。

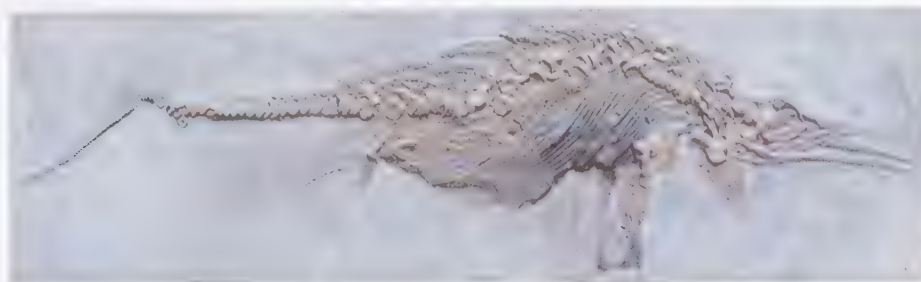
●鳥脚類恐竜のいろいろ

鳥脚類は，白亜紀の終わりごろ栄えた草食の恐竜です。このなかまには，下の写真のように，口ばしがカモやアヒルのように広くなっている，カモハシ竜という恐竜がいます。大きなものは，体長９～１２ｍ，体重数トンに達しました。２本足で歩き，指には水かきがありました。

重要な特徴は，あとのものほど，頭の頂きから鼻にかけて，いろいろ変化していることです。頭骨には，鼻につながった大きな空所があります。このことから，かれらは危険がせまると，水中ににげて，深みにもぐり，鼻だけ出してじっとしていたのだと考えられています。

海の爬虫類

恐竜に見られるように，爬虫類は中生代の陸の支配者でしたが，海でもたいへん栄えました。爬虫類が海へも出ていったことは，脊椎動物が発展してきた歴史の中では，重要な出来事です。魚類や両生類は，もともと水中生活をする動物ですが，爬虫類の場合は，いちど完全に陸上生活をするようになったもののの中から，ふたたび水中生活にもどるものが出てきたわけです。

魚竜や首長竜は，代表的な海の爬虫類です。かれらの手や足は，泳ぐのに適したひれ状に変化し，からだも流線形になりました。しかし，からだの内部構造はそのままで，やはり空気を呼吸していました。いまでも，ウミガメは陸に上がって産卵します。これは，海で生活するウミガメも，完全に陸から離れられず，その祖先が，陸上生活をした動物であったことを示しているといえます。

日本では，魚竜の化石が宮城県と北海道から，首長竜の化石が福島県や北海道から見つかっています。

◀**イクチオサウルス**（魚竜類）ジュラ紀　体長１～３m　背骨は魚に似ており，からだつきも魚そっくりである。魚のように，すばやく泳ぎまわることができただろう。尾びれは垂直で，イルカのような水平な尾びれとはちがう。

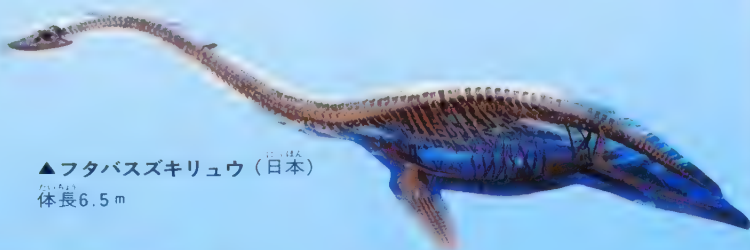
▲**ステノプテリギウス**（魚竜類）ジュラ紀　体長１～３m　この化石では，骨格だけでなく，からだの外形も保存されている。大きな目，肉質の背びれ，遊泳に適したひれ足など，魚竜の特徴がよく出ている。

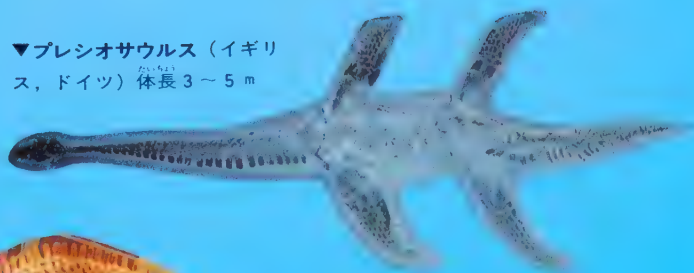
▼**ジュラ紀の魚竜の群れ**　魚竜は，おそらく現在のイルカのように，群れをつくって泳ぎまわっていたことだろう。

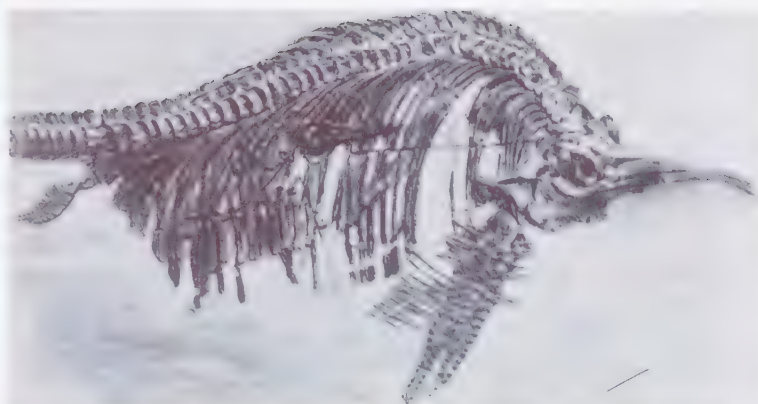
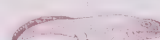
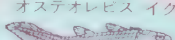
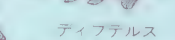
●首長竜の２つのタイプ

首長竜はプレシオサウルスといって，“ヘビのような首の竜”という意味があります。ジュラ紀に出現し，白亜紀に大発展しました。三畳紀にいた，イグアナのようなノトサウルスという爬虫類が祖先だと考えられています。

ノトサウルスではまだ５本の指がありますが，首長竜になると四肢は完全にひれ状になります。首長竜は，頭が大きく首の短いものと，頭が小さく首の長いものとの，２つの系統に進化してきました。

▲フタバスズキリュウ（日本）体長6.5ｍ

◀クロノサウルス（オーストラリア）頭の長さ３ｍ

▼プレシオサウルス（イギリス，ドイツ）体長３～５ｍ

◀タウマトサウルス（ヨーロッパ）体長3.5ｍ

▶パキプレウロサウルス（ヨーロッパ）ノトサウルスのなかま。首長竜より原始的で，泳ぐことも歩くこともできた。

▲腹に子どもをもっている魚竜ステノプテリギウスの化石　ヨーロッパのジュラ紀の地層からは，このような化石がたくさん出る。水中で生活する魚竜にとって，これはたいへん便利なしくみで，哺乳類のクジラなどともよく似ている。

▲陸に上れなかった首長竜　アザラシのように陸に上ったと考える人もいましたが，首長竜は陸に上ることはできませんでした。

●海へもどった爬虫類

脊椎動物は，水中生活をするものから陸上生活をするものへと進化してきました。しかし，長い間にまた水中生活にもどるものや，空へ進出するものが現われました。こうした大きな生活上の変化は，過去に2回あります。中生代に爬虫類が大発展したときと，新生代に哺乳類が大発展したときです。将来同じようなことがくり返されるでしょうか。これは重要な問題ですが，まだ何ともいえません。

爬虫類は殻つきの卵を産むようになって完全な陸上生活者になりました。ふたたび海へもどった爬虫類たちは，どのようにして子どもを産んだのでしょうか。まるで魚のように変化した魚竜は，陸地に上がれません。そのかわり，魚竜は子どもが親の腹の中で産まれるようなしくみ（胎生）になっていることがわかりました。

首長竜は，どんな方法で子どもを産んだかわかっていません。首長竜は浅い海を中心に生活していました。こしやかたの骨は退化していて，大きな体をささえることはできません。そのため，首長竜は陸に上れませんでした。そんなわけで首長竜は胎生だったかもしれません。

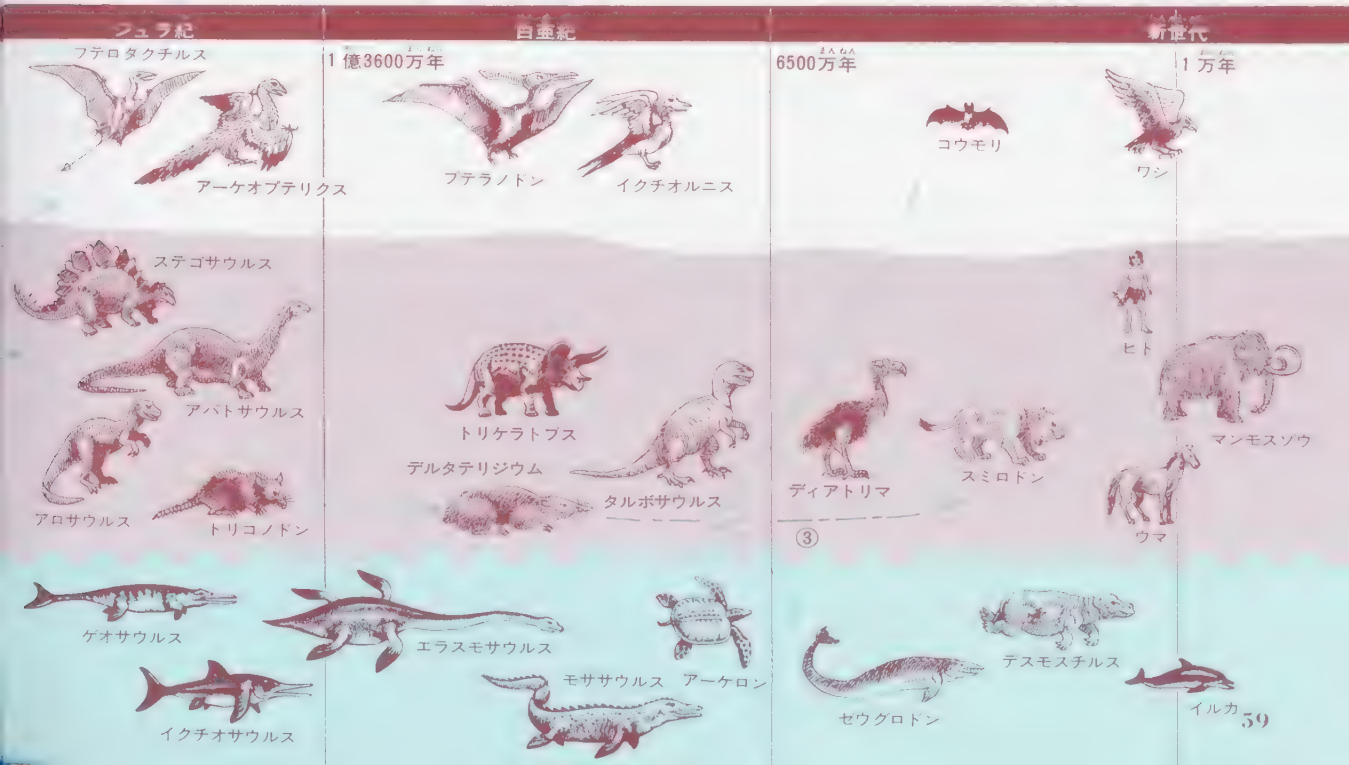
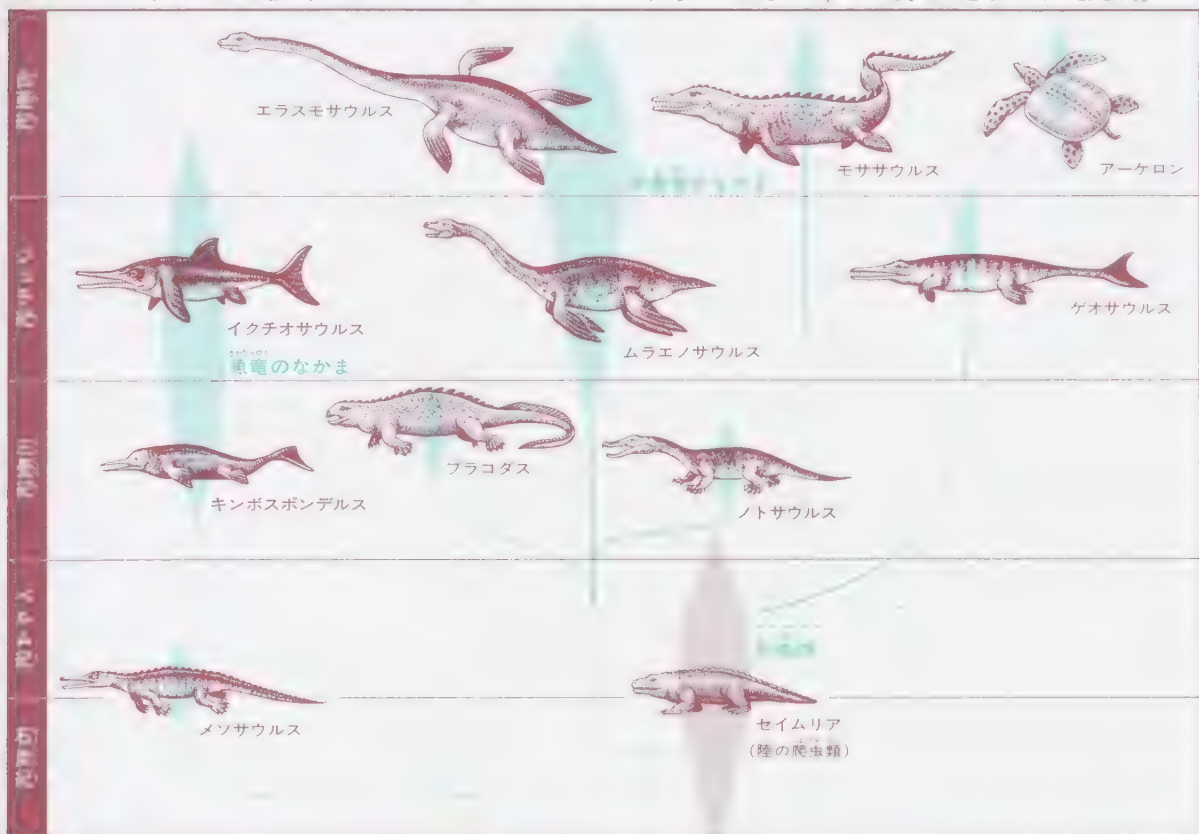
デボン紀	石炭紀	ペルム紀	三畳紀
3億9500万年	3億4500万年	2億8000万年	2億2500万年

●生物の進化と生活場所の広がり

陸に上がった最初の脊椎動物である両生類は，ふたたび一生水中生活をするものが出ただけにとどまりました（①）。陸上生活をするようになった爬虫類からは，ペルム紀から三畳紀にかけて，また水中生活をするものが出てきました。ジュラ紀には空へも進出しました（②）。哺乳類は，新生代にはいって発展し，爬虫類にかわって，海にも空にも進出しました（③）。

ディメトロドン
ユウパルケリア
オステオレピス　イクチオステガ
①
セイムリア
②
キノナータス
ドレパナスピス
ディプテルス
プロトスクス
ブランキオサウルス
メソサウルス
ディニクチス
クラドセラケ
ノトサウルス
プテラスピス
カムピロプリオン
プラコダス

●海の爬虫類のなかま

海にすんでいた爬虫類の中では，魚竜と首長竜のなかまがおもなものでした。しかし，中生代の海には，このほかにもいろいろな爬虫類がいました。たとえば，トカゲのなかまから進化して海へすむようになったモササウルスや，ワニのなかまで海中生活をするようになったゲオサウルス，体長が4ｍにも達した巨大なウミガメであるアーケロンなどがいました。歯の特徴からみると，かれらのほとんどは，魚や貝などを食べていました。

空の爬虫類

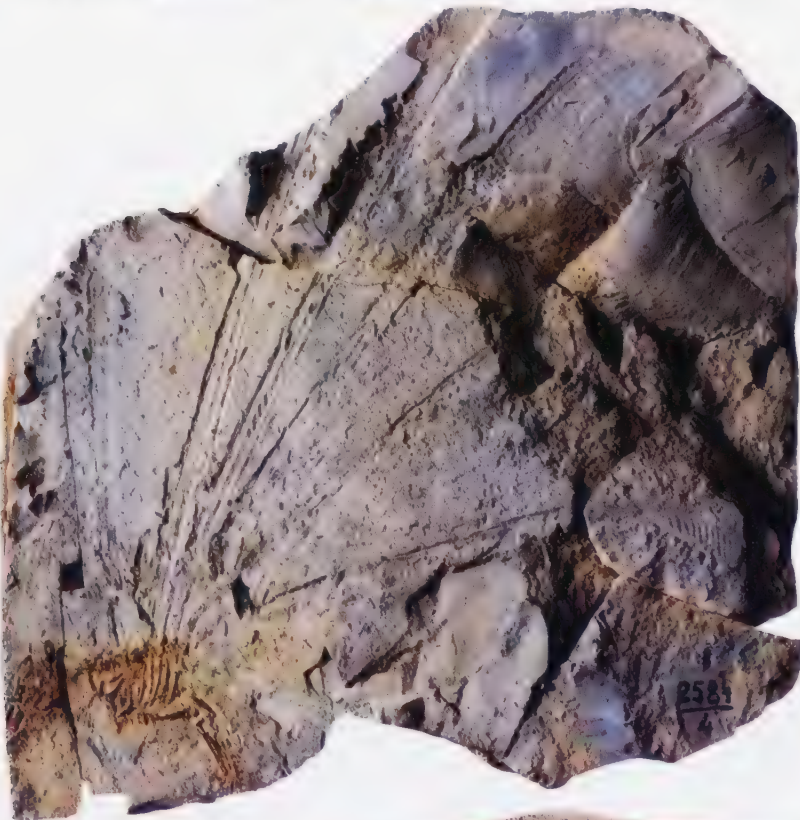
今から1億9000万年前のジュラ紀のはじめごろ，爬虫類から，空を飛ぶようになったグループが現われました。これが翼竜類で，かれらは白亜紀の末にほろびました。

翼竜類の大きさは，スズメほどのものから，翼の幅十数メートルに達するものまでいろいろでした。小形のものは昆虫などを食べ，大形のものは魚なども食べていたと思われます。骨は中空で，鳥によく似ています。翼をささえるのは4番めの指で，1～3番めの指はかぎ状になり，木にぶらさがるとき役立ったことでしょう。

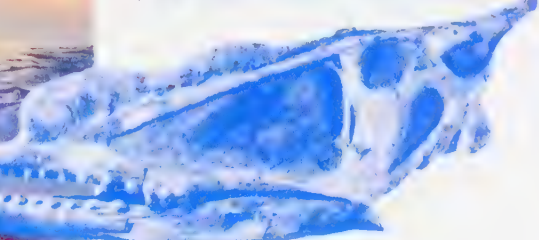
ソルデスのように，体毛をもったものがいたことからすると，翼竜は鳥のように，体温の調節ができる定温動物であったと思われます。翼竜の祖先はよくわかりませんが，ソ連のフェルガナからは，すでに三畳紀に滑空していた爬虫類の化石が知られています。

日本からは，白亜紀にいたプテラノドンの化石が見つかりました。

◀▼**ロンギスクアマ**（飛行性の爬虫類）三畳紀　全長15～20cm　背中の9本の長い羽のようなものは，うろこが変形したもので，鳥の羽毛のようになっている。ロンギスクアマはこれをパラシュートのように使ったと思われる。

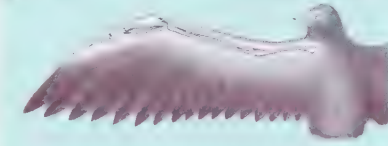
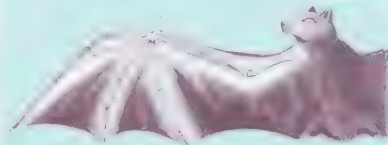
◀▼**ポドプテリクス**（飛行性の爬虫類）三畳紀　全長約20cm　手と足の間にうすい膜が発達していて，ムササビのように木から木へ滑空していたと思われる。

◀▼プテロダクチルス(翼竜類)ジュラ紀 全長15～20cm 最小の翼竜の1つで，ヨーロッパや東アフリカにいた。大きな目と，発達した歯が目立っている。

◀▼ソルデス(翼竜類)ジュラ紀 全長約30cm ソ連のカラタウから発見された。からだには毛がはえており，おそらく体温をたもつのに役立ったものらしい。

◀▼ズンガリプテルス(翼竜類) 白亜紀 中国大陸のズンガリ盆地から発見された。くちばしが上むきにそった変わった翼竜で，翼のはしからはしまで約2.5mある。

●翼竜と鳥とコウモリ

空を飛ぶ脊椎動物には，翼竜類と鳥類の大部分，哺乳類のコウモリの３つのグループがあります。かれらが空を飛ぶには，いずれも，からだを軽くすること，翼をもつこと，性能のよい目や耳をもつことなどが必要でした。３つのグループとも，ふつう骨は中空で，軽くてじょうぶにできています。翼は，翼竜やコウモリは飛膜で，鳥類では羽毛でできています。また，翼竜や鳥の目はたいへん発達していました。コウモリは耳が発達しています。

空を飛ぶためのからだのつくりは，グループにより少しずつちがいます。しかし同じように空中生活をするため，ちがった系統の動物でもすがたはよく似ています。

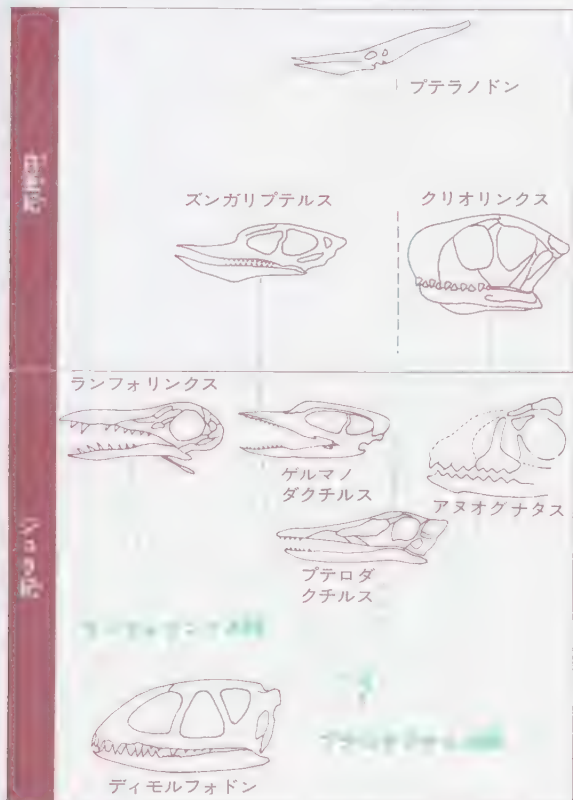
◀翼竜の翼は４番めの指でささえられた皮ふからできている。

◀鳥の翼は羽毛でおおわれているので，軽くて性能のよいものになった。

◀コウモリは皮ふでできた翼を，２～５番めの４本の指でささえている。

▶**日本のプテラノドン**　北海道の幾春別川の川原で，白亜紀のアンモナイトをふくむ石のかけらの中から見つかった。長さ10cmほどの断片であるが，プテラノドンの足の骨の一部で，復元すると翼幅が７～８ｍのプテラノドンになる。

●**翼竜のくらし**　翼竜には，高い木の上やがけの上にすんでいて，空中から浅い湖沼や海岸の水面にまいおりて，魚をとらえて食べるものや，暗やみにじっと動かずにいる昆虫などをさがし求めていたものなどがいた。翼竜は，ちょうど今のコウモリのように，おくびょうな動物だったろう。

●翼竜のいろいろ

翼竜には，長い尾をもったランフォリンクス類と，尾が短いプテロダクチルス類の２つの系統があります。この図に示したほかにも，たくさんの翼竜がいました。

（上の図の資料は楊による）

鳥類の出現

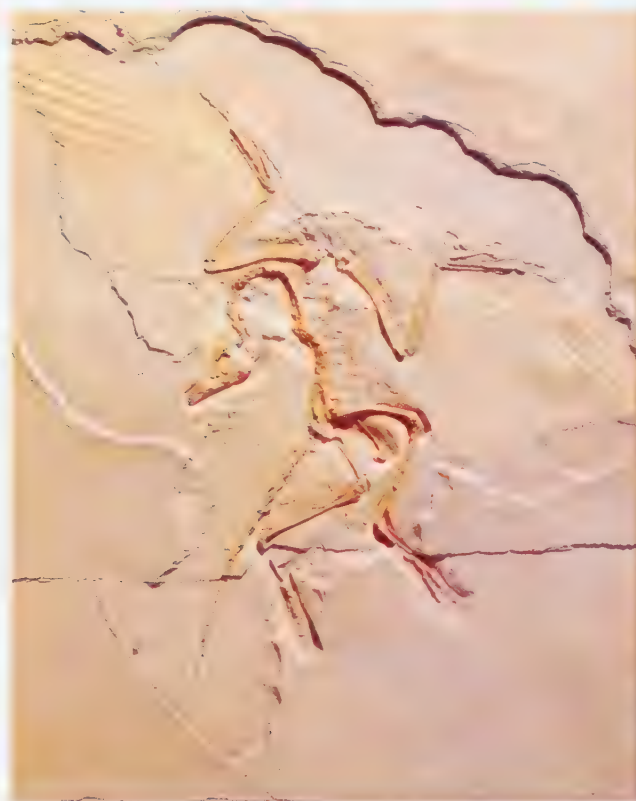
1877年，ドイツのバイエルン地方のゾルンホーフェン石板石から，始祖鳥（アーケオプテリクス）とよばれる，世界最古の鳥の化石が発見されました。この化石は，翼竜が現われたのと同じジュラ紀のもので，完全な骨格ばかりか，羽毛のあとまで残っていました。

始祖鳥の骨格は，カラスぐらいの大きさがあり，もし羽毛のあとがなかったら，鳥だとはわからないほど爬虫類に似ていました。歯をそなえた原始的な頭や長い尾は，爬虫類のものですし，骨盤や足も，恐竜のあるものに似ています。しかし，羽毛のあとは，この動物が鳥のなかまであることのたしかな証拠ですし，上腕骨の形も鳥に似ています。

始祖鳥は羽毛をもっていたことからして，定温動物であったと思われます。しかし，胸骨が弱よわしかったため，飛ぶための筋肉も弱く，あまりじょうずに飛ぶことはできなかったと考えられます。

つぎの白亜紀には始祖鳥よりずっと今の鳥に近いものが現われ，新生代にはいると，鳥類は翼竜にかわって空の王者となります。

▶**始祖鳥の復元図**　化石鳥類の研究家G.ハイルマンによる。

▼始祖鳥の化石は，19世紀後半までに，ドイツのベルリン博物館やイギリスの大英博物館のものなど，3体分が見つかっていました。最近になって，また新しい3体分の化石が見つかって研究されています。下左の写真は，1877年に発見されたベルリン博物館の標本で，下右の写真は，1951年から1973年にかけて新しく発見されたものです。

イクチオルニス

ヘスペロルニス

▲白亜紀の鳥　今から7000万年前ごろ，海辺には，よく飛ぶことのできたイクチオルニスと，翼がなくなって泳ぐようになったヘスペロルニスという鳥がいた。どちらも，口には爬虫類のような歯があったが，からだのしくみは今の鳥によほど近づいている。

▲北海道で見つかった化石

◀**イクチオルニス**（鳥類）白亜紀　アメリカのカンサス州の当時海だった地層から発見された。爬虫類のような歯をもっていたが，翼の骨は今の鳥のように1本にくっつき，胸骨も発達していた。骨から見て空をじょうずに飛んだ最古の鳥である。大きさはハトぐらいで，群れをなし，魚などを食べていたと思われる。北海道の日高山脈の白亜紀の地層からも，イクチオルニスに似た鳥の化石が見つかっている。

▼**ヘスペロルニス**（鳥類）白亜紀　やはりカンサス州で発見された。翼の骨がなくなったかわりに，足の指は長く横に広がるようについている。今のカイツブリのように泳いだり，もぐったりして魚をとっていたのだろう。大きさはアヒルより大きく，体長約1m

●翼の変化

始祖鳥が最も古い鳥とされる最大の理由は，羽毛をもっていることです。下の図のように，始祖鳥の翼は，ハトの翼によく似ています。しかしハトの場合は，指が1本にくっついてなくなっていますが，始祖鳥では長い指が残っています。このような翼の変化を考えるとき，ホアジンという鳥のひなは，重要なことを教えてくれます。この鳥の翼には，始祖鳥のように，木の枝につかまることのできる指が発達しており，歩くときには手足を使います。ホアジンのひなの翼は，ちょうど始祖鳥と現在の鳥の中間の特徴をもっているのです。

▲始祖鳥(左)，ホアジンのひな(中央)，ハト(右)の翼をくらべてみると，鳥の翼がどのように変化してきたかがうかがえる。

▲ホアジンは，南アメリカの北東部にいる原始的な鳥である。親の大きさは60cmくらいで，ひなのときあった指はなくなる。おく病な鳥で，飛ぶこともうまくない。ツメバケイともいう。

●始祖鳥の祖先

始祖鳥は，どんな動物から進化してきたのでしょうか。始祖鳥の特徴から，その祖先をさぐってみましょう。

始祖鳥の骨盤は，鳥盤類恐竜に近いものから分かれてきたことを思わせます。あと足は獣脚類恐竜に似ていて，3本指が前方へ，1本指が後ろへ向いています。おそらく始祖鳥は，ニワトリのように地上を走りまわることができたのでしょう。こうしたからだつきは，2本足で走りまわったテコドント(槽歯類)にも似ています。

このようなことから，始祖鳥の祖先は，三畳紀のテコドントの中にいたものと考えられています。テコドントの中に，地上をすばやく走りまわったり，リスのように木に登っては飛びおりたりしていたものがいて，やがて，手や足の一部，尾などに，羽毛に似たものがはえてきたのでしょう。しかし，テコドントと始祖鳥を結ぶ中間的な動物の化石は，まだ見つかっていません。

▼左から右へ順に，2本足のテコドント，テコドントと始祖鳥を結ぶ仮説的な動物，始祖鳥，イクチオルニス，ハトのように進化してきた。

●飛ぶための改良

ジュラ紀の始祖鳥，白亜紀のイクチオルニス，現在のハトのからだのしくみをくらべてみましょう。空を飛ぶために，頭や歯，翼，胸骨，尾などが，少しずつ改良されてきたことがわかります。着陸装置としての足や腰もしだいにしっかりしてきました。

また，下の図でははっきりわかりませんが，飛ぶためには，目や耳などの感覚器官の発達も欠かせないものでした。

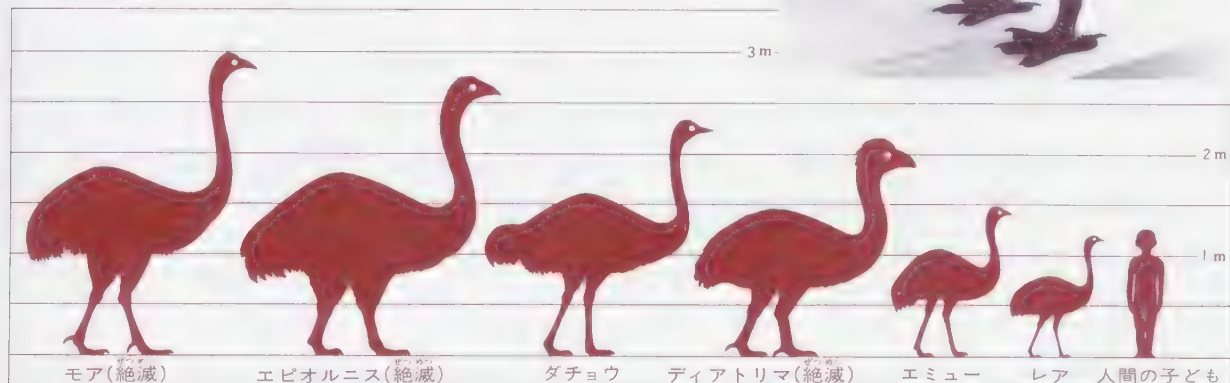
▼3種の鳥をくらべると，翼の指は離れていたものが1本にくっついて強くなる。尾は短くなり，胸骨は，翼を動かす強力な筋肉が付着できるように大きくなる。始祖鳥やイクチオルニスには歯があるが，ハトにはない。

●地上におりてきた鳥

白亜紀が終わって，第三紀の哺乳類時代になると，ダチョウのように地上を歩きまわる鳥が現われます。

北アメリカのディアトリマ，南アメリカのフォロラコス，マダガスカル島のエピオルニス，ニュージランドのモアなどは，見上げるように大きな鳥でした。もちろん，南アメリカのペンギンやモーリシァス島のドド(右の写真)のように比較的小さいものもいました。

ディアトリマやフォロラコスは，当時のほとんどの哺乳類より強力で，地上の支配者としての地位を哺乳類と争うほどでした。今いるダチョウやエミューなどは，地上を走る鳥の生き残りです。

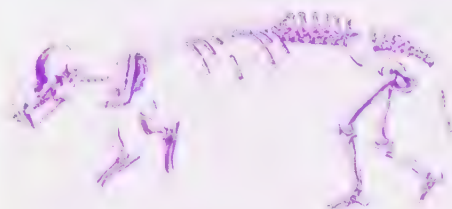
▼巨大な地上性の鳥の高さくらべ

古第三紀の哺乳類

第三紀は，アルプスやヒマラヤ，ロッキー，アンデスなどの世界じゅうの大山脈がつくられた時期です。気候は，今よりあたたかかったが，白亜紀にくらべると寒くなってきました。哺乳動物が急に発展してきました。

第三紀は，6500万年前から2600万年前までの古第三紀と，2600万年前から200万年前までの新第三紀に分けられます。さらに，古第三紀は暁新世，始新世，漸新世に，新第三紀は中新世，鮮新世に分けられます。古第三紀と新第三紀は，ちょうどジュラ紀と白亜紀で恐竜の種類がちがうように，哺乳類の種類がちがうのが特徴です。

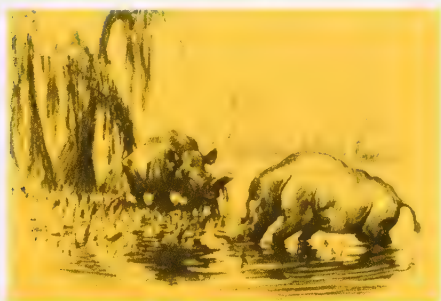
▲ポーランド・モンゴルのゴビ砂ばく探検隊のテント風景。ゴビ砂ばくは，恐竜はもちろん，白亜紀や第三紀の哺乳類化石の宝庫でもある。

▲小さい哺乳類の化石は，注意しないと見のがしてしまう。地面にはいつくばって，岩のかけらから化石を探す隊員たち。

▲北アメリカユタ州の恐竜公園に近いウインタ地方には，めずらしい哺乳類がたくさんいた。なかでもウインタテリウムは，始新世にいたグロテスクな動物で，サイぐらいの大きさであった。6本の角と大きな犬歯が特徴。

◀▲**モンゴロテリウム**（恐角類） 始新世 ゴビ地方にいた。北アメリカのウインタテリウムと同じなかまの動物で，どちらも大きな犬歯をもっていた。しかし，外見はあまり似ていない。恐角類は，古第三紀に特有な動物で，漸新世にはいるころには絶滅した。

▼▶**アーケオメリクス**(偶蹄類) 始新世 ゴビ地方にいた。シカやキリンなどの祖先にあたる動物で，大きさは子ヤギぐらい。アーケオメリクスは，長い4本の足のようすからして，草原にすみ，速く走ることによって肉食動物からのがれて生活する動物であった

▼▶**エンボロテリウム**(奇蹄類) 漸新世 ゴビ地方にいた。北アメリカのブロントテリウムのなかまで，大きさはゾウぐらい。外見はサイに似ていた。鼻骨が前方へつきでていた。これは水中でえさをとるとき，鼻が水面より出ているので呼吸しやすいことや，頭つきの武器としての役目をしていたと思われる

▼頭骨
▼下顎骨

▼▶**エンテロドン**(偶蹄類) 漸新世 北アメリカやアジア，ヨーロッパに広く分布していた 巨大なイノシシの一種で，肩までの高さ 1.5 m，体長3 mに達した。今のイノシシより肉食性の傾向が強く，草原などの開けた場所にいた

●哺乳類の発展

哺乳類は，ペルム紀や三畳紀にいた哺乳類型爬虫類から分かれました。しかし，恐竜が栄えたジュラ紀や白亜紀には目立たない存在でした。現在の哺乳類につながる真の哺乳類の祖先は，白亜紀に現われ，新生代に急速に発展しました。卵をうむ哺乳類(単孔類)のカモノハシや有袋類のカンガルーなどの原始的な哺乳類の祖先が，いつごろ現われたかはまだよくわかりません。

●爬虫類から哺乳類へ

かつて爬虫類は，陸地だけでなく，空や海にもはびこっていましたが，中生代の末にほろびました。しばらくして，こんどは哺乳類が陸，海，空どこにでも見られるようになりました。下の図は，哺乳類と爬虫類で，すんでいる場所や食物が似ているものどうしをくらべたものです。からだの内部はちがっても，外見はよく似ています。

プテラノドン

コウモリ

チラノサウルス(肉食)

トリケラトプス(草食)

アパトサウルス(草食)

スミロドン(肉食)

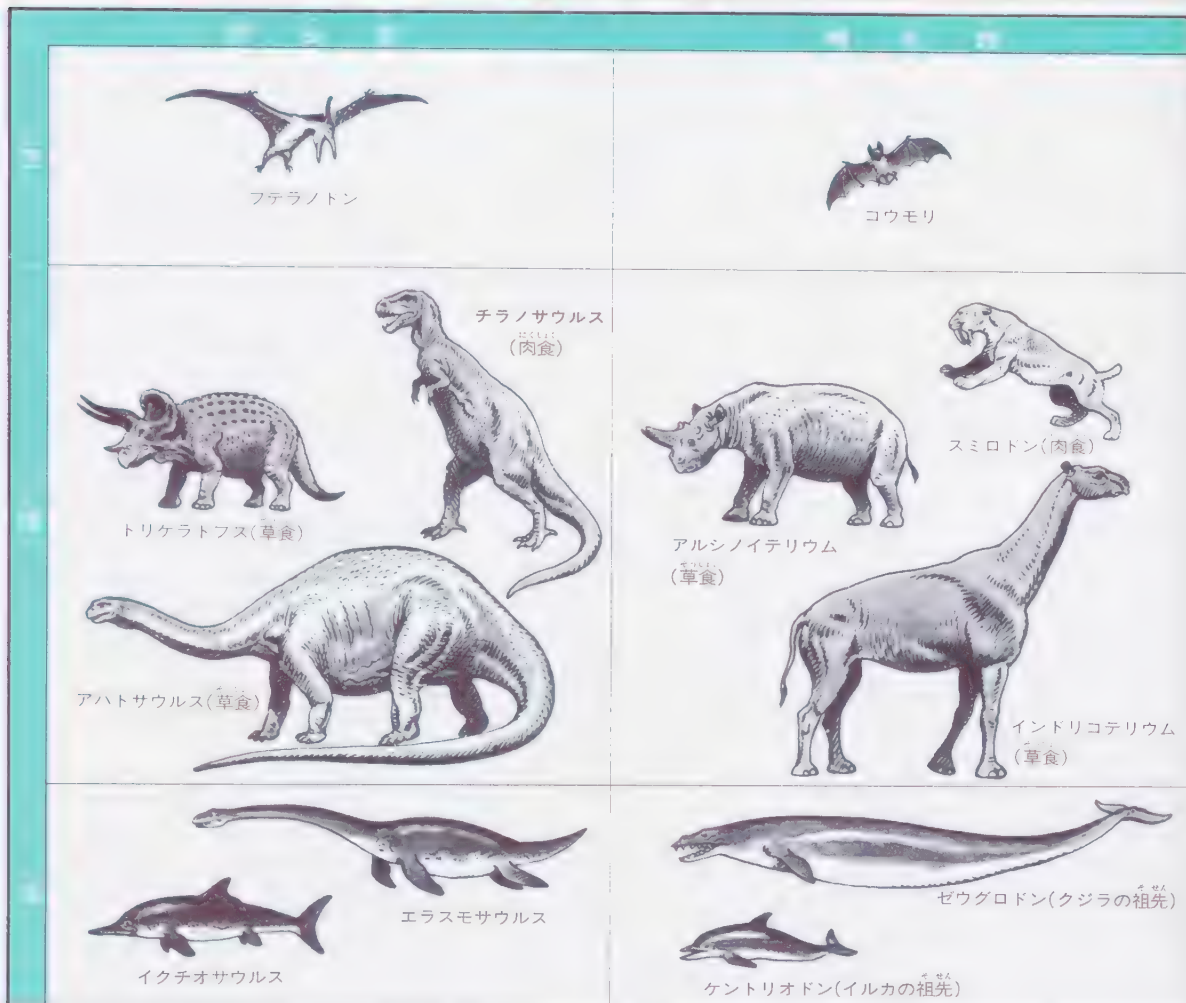
アルシノイテリウム(草食)

インドリコテリウム(草食)

エラスモサウルス

イクチオサウルス

ゼウグロドン(クジラの祖先)

ケントリオドン(イルカの祖先)

●地上最大の哺乳類

哺乳類は，中生代には大きさも，外観も，今のネズミのようなものしかいませんでした。ところが始新世にどんどん大きくなり，漸新世には陸上で最大の哺乳類が出現しました。下の図のインドリコテリウムがそれです。肉食獣も巨大化し，現在のハイエナに似たアンドリュサークスは今のサイほどもありました。これらの巨大化した動物たちは，古第三紀が終わるころにはほろんでしまいました。

▲▶インドリコテリウムの骨格。人間にくらべると，その大きさがよくわかる。

▶インドリコテリウム(奇蹄類)　漸新世

ソ連のカザフスタンやモンゴル，中国などにいた。大きなものは，肩までの高さが5m以上にもなった。長い首と，わりあいに小さい頭からして，ちょうど今のキリンのような生活をしていたらしい。体重5トンのアフリカゾウは，1日に150kgの植物を食べるという。ゾウの2～3頭分もあったインドリコテリウムが，1日に食べる植物の量はばく大なものであったろう。同じころ，似たなかまにバルキテリウムがいた。

新第三紀の哺乳類

新第三紀，つまり中新世や鮮新世になると，それまでの古地中海（テーチス海）はなくなり，世界の大陸と海はほぼ現在のような形になりました。気温はかなりあたたかかったとはいえ，少しずつ下がり続けていました。新第三紀の後半には，シベリア，中国，モンゴルをふくむ広い地域に草原が発達し，そこでは，今のアフリカにいるようなさまざまの動物たちの祖先が栄えました。

新第三紀には，古第三紀以来の哺乳類がほとんどほろび，わたしたちがよく知っている動物に近い，近代的な動物が現われてきます。ウマのなかまのように，始新世から現在まで長い期間生き続けたものはめずらしく，ゾウのように新しく発展するものがでてきました。

▼▶**プラチベロドン**（長鼻類）　中新世～鮮新世　中央アジアにいた。ゾウの中では変わりもので，上あごの牙は退化していた。下あごの牙は横に広がり，あたかもシャベルのようになっている。おそらくこれを使って土をほりおこしては，水生植物などをあさっていたのだろう。

▼▶**ダイノテリウム**（長鼻類）　中新世～更新世　ヨーロッパ，インド，アフリカなどにいた。ふつうのゾウのような上あごの牙がない。そのかわり下あごの牙が発達し，しかも下向きにまがっている。足が長く，背が高いゾウで，鮮新世には肩までの高さが４ｍに達した。おそらく温暖で，しめった気候の地域の森林で生活していたもので，下あごの牙は，土などをほりおこすのに使われたと考えられている。下の写真は，ダイノテリウムの臼歯。

◀▼**アケラテリウム**(奇蹄類)　中新世～鮮新世　ヨーロッパやアジアにいた。現在サイは，アフリカやインドなどごくかぎられた所にしかいない。しかし，古第三紀の終りから新第三紀にかけては，広く分布し，ひじょうに栄えていた。だから今のサイは“生きている化石”といえる。アケラテリウムは，角のないサイのなかまで，むかしのサイはこのように角がなく，走るのを得意としていた。

◀▲**キロテリウム**(奇蹄類)　中新世～鮮新世　たくさんの種類に分かれ，ヨーロッパからアジア，北アメリカまで広く分布していた。アケラテリウムよりやや大きく，あごもさらにしゃくれている。これも角のないサイで，発達した下あごの牙が，角にかわる武器として役立ったのだろう。日本でも，岐阜県可児郡などから発見されている(→P.85)。

◀▲**サモテリウム**(偶蹄類)　中新世～鮮新世　原始的なキリンのなかまで，ヨーロッパやアジアにいた。キリンは，もともとシカと共通の祖先から分かれてきたもので，このころのキリンの首は，まだふつうの長さであった。頭には，左の写真のように2本の角が発達していた。現在アフリカにいるオカピは，サモテリウムのようなものが，ほとんど変化せずに生きながらえてきたものである。

●草食動物の大発展

新第三紀になると，ゾウ，ウマ，ラクダなどをはじめとして，草食動物がたいへん栄えました。なかでも奇蹄類や偶蹄類など，ひずめをもった動物がふえました。かれらは速く走るとか，からだが大きくなるとか，角など敵から自分を守るものを身につけるとか，あるいは集団で生活するとか，いろいろなくふうがされています。世界じゅうに広く分布したものも，分化がはげしく，地域的に特徴をもったものなどもありました。草食動物が大発展すると同時に，草食動物をねらういろいろな肉食動物もたくさん現われました。

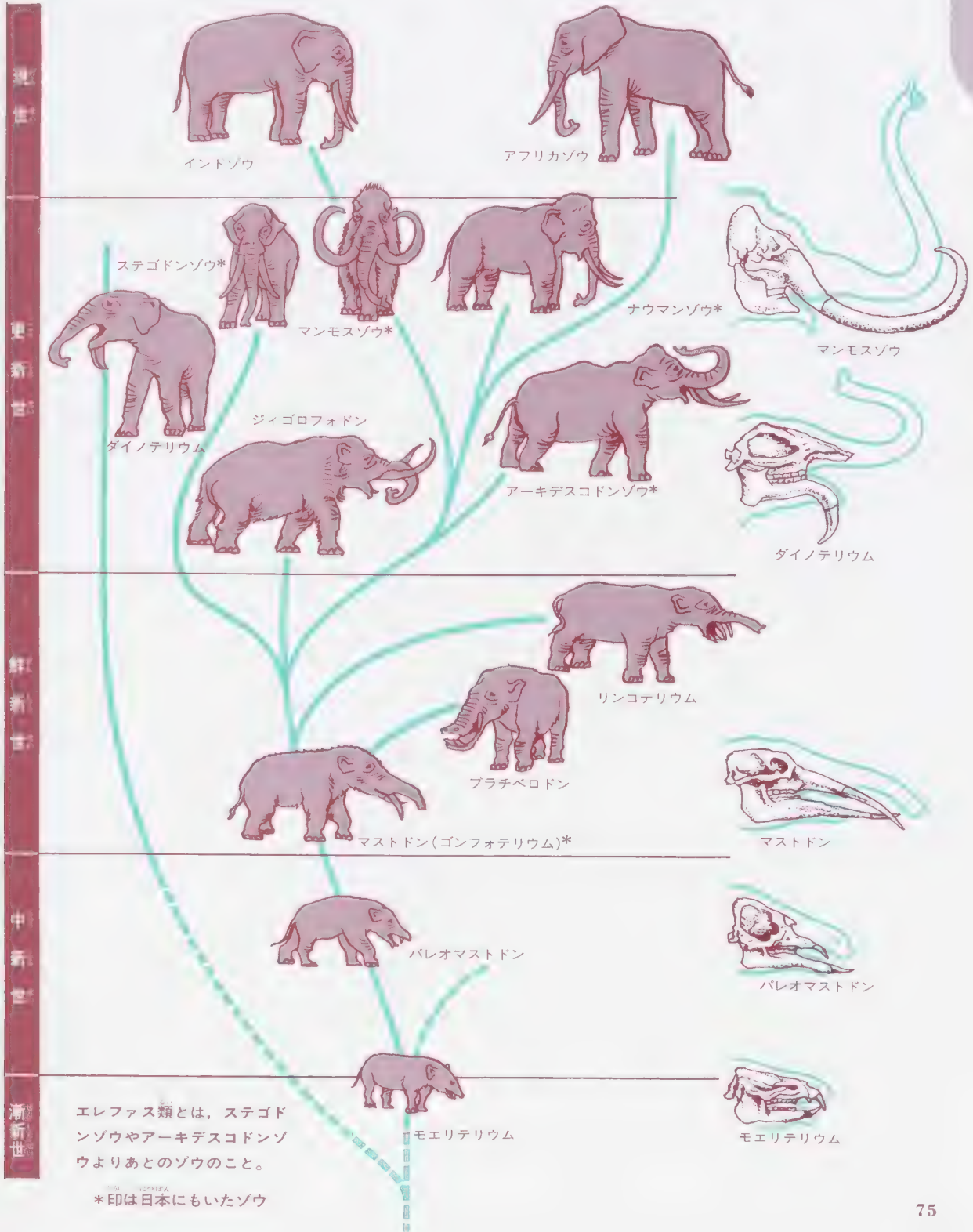
▶**スミロドン**(食肉類)　鮮新世～更新世　新第三紀には，ハイエナやテン，オオカミなどの祖先のような肉食動物がたくさん現われた。それらの中でも代表的なものは，短剣のような犬歯をもったマカイロドウスやスミロドンであった。かれらは，新第三紀にはヨーロッパからアジアにかけて広く分布していたが，一部が南北アメリカ大陸にも進入して，そこで第四紀の更新世まで生き続けた。

●世界じゅうに広がったゾウのなかま
ゾウのなかまは，新第三紀のはじめ，２千数百万年前に北アフリカに出現した。それからヨーロッパ，アジア，北アメリカへとどんどん広がり，第四紀の更新世には南アメリカにも移住した。移住は種類によって何回かに分かれ，くりかえし行われた。したがって，同じ種類のゾウでも，ある場所では早く現われて，早くほろび，ある場所ではおそくまで生き残っていた。

●ゾウのなかまの進化

ゾウは哺乳類の中では変わりものである。鼻ひとつとっても，今のゾウが生き残っていなかったら，化石のゾウの鼻を復元することはたいへんむずかしかったろう。

今のゾウの祖先は，北アフリカのファユムから出たパレオマストドンか，それに近いものから進化してきた。モエリテリウムは主流ではなく，早い時期に枝分かれしたものと考えられる。ダイノテリウムも別の枝である。

今のゾウは，パレオマストドンからマストドン，エレファス類へと段階をへて進化してきた。その流れを見ていくと，鼻が長くなったこと，からだが大きくなったこと，4本の小さい牙から，上あごの2本の大きな牙になったこと，臼歯が変化したことなどが目だつ。

エレファス類とは，ステゴドンゾウやアーキデスコドンゾウよりあとのゾウのこと。

＊印は日本にもいたゾウ

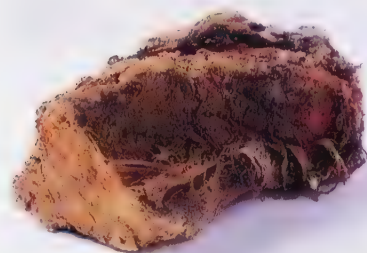
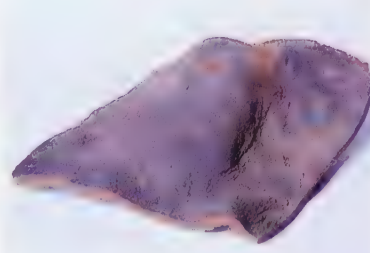
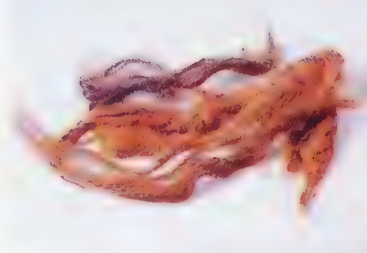
第四紀，氷河時代の哺乳類

約200万年前からはじまった第四紀という時代は，氷河時代でもあります。気温は第三紀の時代から下がり続けていましたが，氷河時代はその絶頂でした。3回4回とくり返しおそってくる寒い気候のために，広い大地はこおりつき，荒野となりました。第三紀以来の古い型の動物にとっては，たいへんな危機がきたのです。

ところが，寒さにたえて生き続けた動物たちもいました。マンモスゾウやモウサイなどはその代表的なものです。かれらは寒さにたえるため，からだに毛が発達し，皮膚の下に厚い脂肪の層をそなえるようになりました。

◀▼エラスモテリウム(奇蹄類)　更新世　体長4.5mに達する巨大なサイで，ヨーロッパやアジアにいた。下の写真で，額にある大きなこぶの上に長さ1.8mもの大きな角がついていた。臼歯はよく発達し，かたい草を効率よくかむことができた。サイの系統の中では最も進化したものとされている。モウサイよりももっと南のステップ(草原)地帯にすんでいた。

◀▼ジャコウウシ(偶蹄類)　更新世～現世　真のウシのなかまは，更新世になって現われた。ジャコウウシは，更新世の末にアジアから北アメリカに渡り，現在もカナダやグリーンランドに生き残っている。大きな角が，頭の両側にぴったりとはりついたようについており，マンモスゾウのように長い毛でおおわれている。タイガとよばれる，ツンドラ地帯の南側の森林にすんでいた。

▲▶マンモスゾウ(長鼻類)
更新世　肩までの高さ 2.8～3.2 mで，アジアゾウからアフリカゾウほどの大きさであった。骨格はもちろん，氷づけになった化石から，肉，皮膚，毛などのやわらかい部分もくわしく調べられている。大きくまがった牙をもち，長さ40cm前後の毛で全身がおおわれていた。皮膚の下には，現在のゾウにはない厚い脂肪の層があった。ヨーロッパからアジア，北アメリカまで広く分布しており，日本でも北海道から臼歯が見つかっている。上の写真の骨格は，1949年にソ連のタイミル半島で発見されたもの。

▲マンモスゾウの筋肉

▲マンモスゾウの皮膚

▲マンモスゾウの毛

●氷河時代の動物の特徴

氷河時代の動物は，からだが大きくなる傾向があります。たとえば，氷河期の動物として有名なホラアナグマは，現在のヒグマよりはるかに大きかったのです。また極地の動物はふさふさした毛をはやし，皮膚も厚くなりました。

氷期には海水面が下がって大陸と大陸がつながったため，陸上動物がほかの大陸へ広がりました。陸続きになった島には，大陸から移動した動物がすみつきました。島に渡った動物は，ふつうからだが小さくなりますが，モグラのようにもともと小さい動物の中には大きくなるものもあります。

▲シベリアで発見されたモウサイの化石。毛や肉も残っていた。

モウサイ

ジャコウウシ

ウマ

現在の海岸線

水深200ｍの等深線

●ベーリング海峡をこえた動物たち

アジアと北アメリカとの間では，何回も動物が行きかいました。第四紀の更新世の末もその時期でした。マンモス，ヘラジカ，バイソン，トナカイ，ジャコウウシ，サイガ，ワピチなどはアジアから北アメリカへ，ウマは北アメリカからアジアへ渡っていきました。

●人類の登場と大形哺乳類の滅亡

氷河時代は、人類の時代ともよばれます。特に世界各地に人間がすむようになった氷河時代の末からは、動物の世界にも、人類の影響がでてきました。アメリカやシベリアでも、日本でも、動物の数がへったり、小形化したり、ほろんだりした例がたくさん知られています。初期の人類は、狩猟をしたり火を使って焼畑をつくったりして、動物が生活していた環境をこわしてきました。現在までに、こうした人類の影響や気候の変化などのために、マンモスゾウやモウサイ、オオツノジカなど、半分近い動物たちがほろんでしまいました。

▲マンモスゾウは人類によって大量に狩られ,その骨で家までつくられた。

ヘラジカ

トナカイ

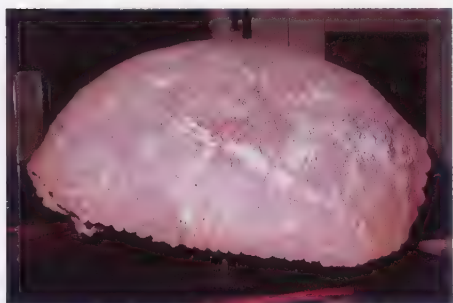
マンモスゾウ

バイソン

北アメリカのランチョ・ラ・ブレアで発見された動物の中には、アジアから北アメリカへ渡ったものが23種類もあるといわれています。ベーリング海峡を渡ることのできた動物は、ツンドラ地帯の寒冷な気候でも生活できるものだけでしたが、ふしぎなことに、モウサイは北アメリカへ渡らなかったようです。

南アメリカの哺乳類

恐竜時代以後の歴史の中で，南アメリカの哺乳類には，とても変わったものが見られます。ここには，ほかの大陸には見られないトキソドンやマクラウケニア，アストラポテリウムといった哺乳類のなかまがいました。トキソドンは，ひずめのある南アメリカの哺乳類で，南蹄類の1つです。南蹄類というグループは，強敵のいない南アメリカで，ネズミぐらいからサイぐらいの大きさの，さまざまなものが出現し，たいへん栄えました。

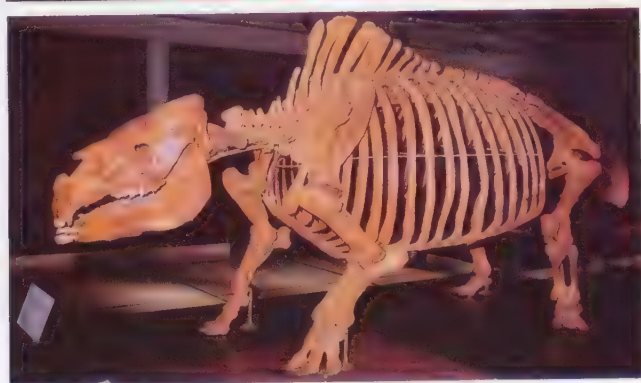
南アメリカの動物で見のがせないのは，ほかの大陸のちがった種類の動物と，似た性質のものがたくさん見られることです。たとえば，にせのウマといわれるプロテロテリウム類，カバのようなトキソドン類，にせのマストドンゾウといわれるピロテリウムなどです。これらは，同じような条件の環境に適応すると，似たような生物に進化してくるよい例といえるでしょう。同様のことは，オーストラリアの有袋類にも見られます。

▲▶グリプトドン（貧歯類）　更新世　体長3ｍ。南北アメリカ大陸にいた。敵に出合うとカメのように頭と尾を甲ら（上の写真）の中に入れたらしい。右の写真は骨格の化石。貧歯類とはアルマジロやアリクイのように歯が退化したり，歯がない動物。

メガテリウム

グリプトドン

◀**メガテリウム**（貧歯類）中新世～更新世　南北アメリカ大陸にいた。地上をのし歩いた巨大なナマケモノ。大きいものはゾウをしのぎ，体長６ｍに達した。

▶**トキソドン**（南蹄類）更新世　サイくらいの大きさで，カバのような水陸両生の動物。でっぷりとした大きな胴体をしており，植物を大量に食いためしていたらしい。進化論で有名なチャールズ＝ダーウィンが，アルゼンチンで見つけた。

▼**マクラウケニア**（滑距類）更新世　水べにすんでいたラクダに似た動物で，ミズラクダともいう。鼻のあなは，頭の頂上の両目の間にある。バクのように長い鼻があったと思われるが，生態はよくわかっていない。

マクラウケニア

トキソドン

●きみょうな動物たち

南アメリカのきみょうな動物たちは，なぜ発生したのでしょうか。その原因は，南アメリカが，長い間ほかの大陸と離れていたことにあります。南アメリカの南蹄類や貧歯類などの祖先は，ほかの大陸の古い地層からも見つかっています。南アメリカに特有な動物たちの祖先は，おそらく古第三紀にアジアや北アメリカから移動してきたものだろうといわれています。その後，南アメリカは，新第三紀の鮮新世の末まで，ほとんど北アメリカにつながりませんでした。そのため，南アメリカにはより進んだ哺乳類の進入がなく，古い型の動物たちが独特の進化をとげたのです。

●有袋類と巨大な鳥

南アメリカの哺乳類で見のがせないもう1つのグループに，恐竜時代からの生き残りである，カンガルーのなかまの有袋類があります。有袋類は南アメリカとオーストラリアで発展しました。南アメリカの有袋類は肉食動物として栄えました。代表的なものは中新世のチラコスミルスで，有袋類でありながら，北アメリカのスミロドンにそっくりです。

哺乳類のほかで目立つものは，地上を走る巨大な鳥のなかまです。第三紀に南アメリカのパタゴニア地方にいたフォロラコスは，頭がウマの頭ほどありました。また，ニュージーランドにいたモアは，史上最大の鳥でした。

▲史上最大の鳥モア

ニュージーランドにいたモアには，いろいろな種類があった。最大のモアは，立ったときの頭までの高さが3.6mもあるディノルニスで，ほかに人間の子どもぐらいのエメウスや人間のおとなぐらいあったパキオルニスなどたくさんいた。モアは，翼が退化してまったく飛ぶことができず，ウマのようにたくましい足で走りまわっていた。草原にすみ，ウシやウマのように大量の草をむさぼり食っていた。モアがほろんだのは数百年前で，当時の狩人たちにとりつくされたといわれている。

グリプトドン

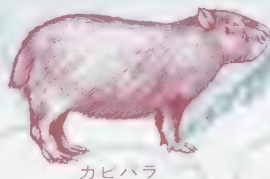
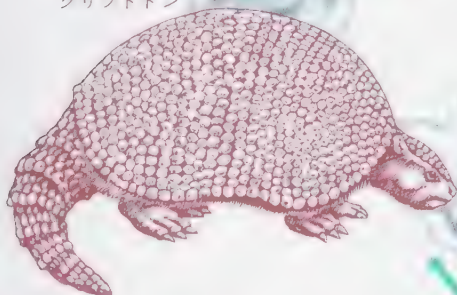
ウマ

バク

スミロドン

メガネグマ

マクラウケニア

マストドンゾウ

●動物たちの大移動

北アメリカと南アメリカは，せまいパナマ地帯の地殻変動のために，つながったり，離れたりしてきた。南北アメリカがつながるたびに，北からやってくる動物のために，南アメリカの動物相は少しずつ変わってきた。最初はネズミやサルのなかまが，ついで中新世にアライグマが渡ってきた。第四紀の更新世には，たくさんの動物が北からやってきて，このころから南アメリカの古い型の動物が急速にほろんでしまった。もちろん，南アメリカから北へ渡ったものもいた。どちらに渡ったものも，大形のものは，更新世の終わりにほとんどほろんでしまった。

北から南へ渡った動物
マストドンゾウ　ウマ　スミロドン（以上絶滅）　メガネグマ　バク　キツネ　ラマ　リスなど

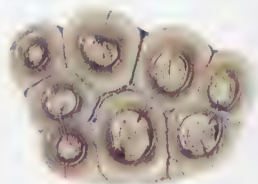
南から北へ渡った動物
グリプトドン　メガテリウム　トキソドン（以上絶滅）　カピバラ（北アメリカでは絶滅）　アルマジロ　オポッサムなど

第三紀の日本の哺乳類

新生代になると，日本からもたくさんの化石が見つかっています。およそ2000万年前ごろ（中新世）の日本は，今の日本列島とはかなりちがいました。しかし，亜熱帯性の海生動物も，冷温帯の動物の化石も発見されることから，当時すでに日本の海岸には，黒潮系（暖流）と親潮系（寒流）の海流が流れていたことがわかります。

この時代の日本の陸地には，ゴンフォテリウムというゾウや，アンキテリウムというウマ，ヒラマキサイ，カニサイなどがいました。海には，デワクジラ，シナノイルカ，シナノトド，ジュゴンなどがいました。

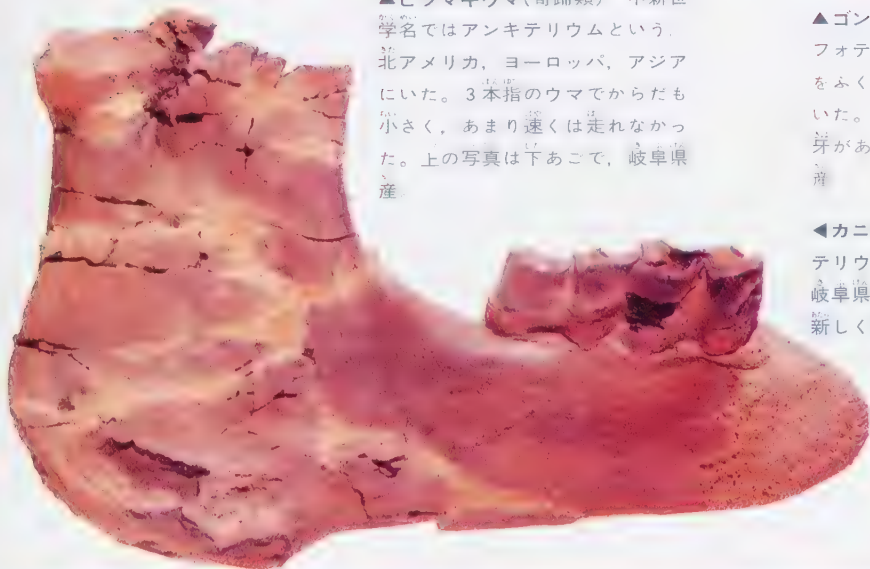
海べにいた動物では，デスモスチルスやパレオパラドキシアというきみょうな動物が有名です。

▼パレオパラドキシア（束柱類） 中新世 日本の本州より北と，北アメリカの太平洋沿岸にいた哺乳類。デスモスチルスのなかまで，海べにすみ，カバのような生活をしていた。がっちりした足からみると，あまり泳げなかったようであるが，大きく開いた指先にはみずかきがあっただろう。のり巻きを束にしたような歯（下右の写真）に特徴があり，ゴカイのような虫や海ソウを食べていたのだろう。

▲デスモスチルスの歯（咬面）

▼デスモスチルスの歯

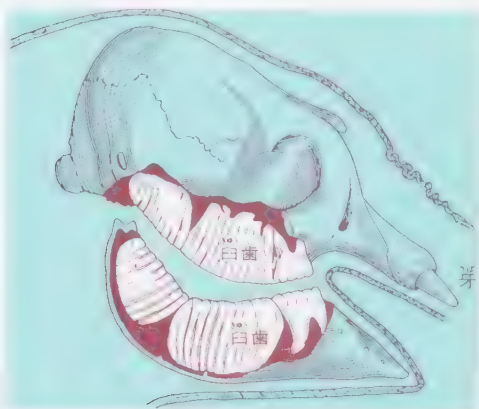
パレオパラドキシア

▲**ヒラマキウマ**(奇蹄類)　中新世　学名ではアンキテリウムという。北アメリカ，ヨーロッパ，アジアにいた。3本指のウマでからだも小さく，あまり速くは走れなかった。上の写真は下あごで，岐阜県産。

▲**ゴンフォテリウム**(長鼻類)　中新世　ゴンフォテリウムとは，大部分のマストトンゾウをふくんだ名まえ。新第三紀に世界じゅうにいた。上下のあごに，門歯が変化した一対の牙があった。上の写真は上あごの歯，岐阜県産。

◀**カニサイ**(奇蹄類)　中新世　学名ではキロテリウム(→P.73)という。カニサイの化石は，岐阜県のものが知られていたが，左の写真は新しく長野県で見つかった下あご。

アンキテリウム
コンフォテリウム
キロテリウム
パレオパラドキシア

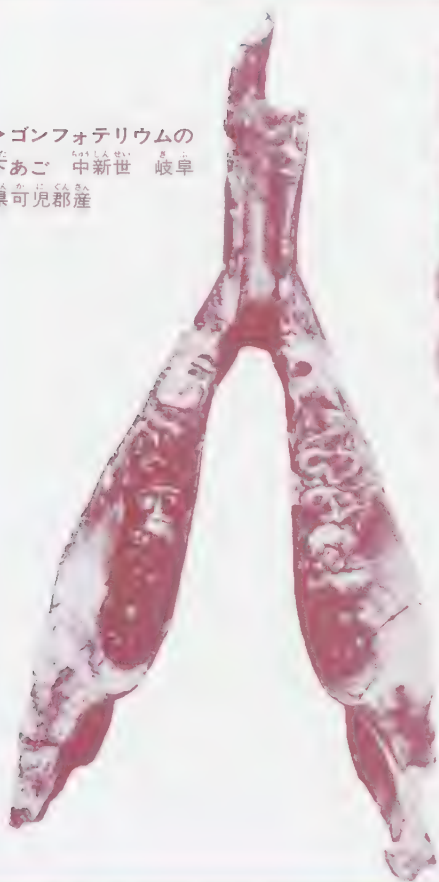
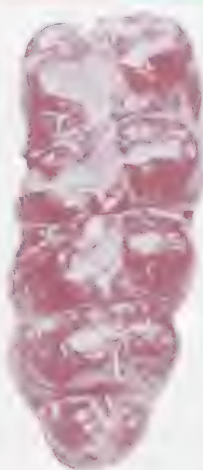
日本のゾウのなかま

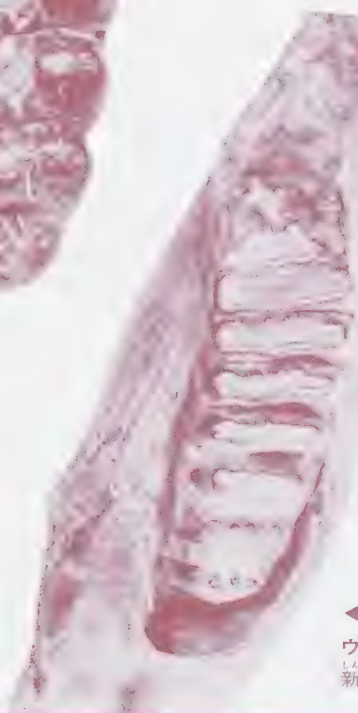
日本は，島の面積が小さいわりに，むかしからいろいろな種類のゾウが知られています。第三紀のマストドンゾウのなかまではゴンフォテリウムが，第三紀の末から第四紀にかけてはステゴドンゾウのなかまのステゴロフォドンゾウ，エレファントイデスゾウ，オーロレゾウ，アカシゾウ，トウヨウゾウなどが知られています。第四紀更新世の中ころからはナウマンゾウがいました。いちばん最後はマンモスゾウです。日本列島が大陸と陸続きになるたびに，いろいろなゾウが次つぎに渡ってきたことがわかります。これらのゾウの化石は，炭田地帯，海でできた砂やどろの地層，川や湖のたい積層，洞くつの中などから発見されています。

●たいせつなゾウの歯

ゾウの牙は，人間でいえば，前歯にあたる切歯が変化したものである。ステゴドン以後のゾウには，上下それぞれのあごの片側につき，奥歯にあたる小臼歯と大臼歯が3本づつある。これらの歯は，いちどに全部はえそろうのではなく，前の方の小臼歯から順にはえてくる。前の歯がすりへると，それをおしだすようにしてつぎの歯がはえてくる（左の図）。

ゾウの歯は，かたくて化石になりやすい。そのうえ，歯の形が種類や年令によって変わっている。だから，歯1本だけでも，どの種類のゾウか，何才ぐらいかなどがわかる。ゾウの歯の形の変化によって，おおよそのゾウの系統や，進化のすじ道をたどることもできる。

いっぱんに，ゾウの歯は，新しい時代のものほど，上下の歯がかみ合う面のひだの数がふえ，複雑になる傾向がある。下の写真は，日本のおもなゾウの歯の化石である。どのように変わってきたか見てみよう。

▶ゴンフォテリウムの下あご　中新世　岐阜県可児郡産

◀ゴンフォテリウムの上あごの臼歯　鮮新世　宮城県仙台市産　乳首のような，対になったこぶが特徴。

▲アカシゾウの左下あごの臼歯　更新世前期　兵庫県明石市産

◀エレファントイデスゾウの左下あごの臼歯　鮮新世　三重県安芸郡産

●ナウマンゾウは200か所から

ナウマンゾウは，日本でいちばんたくさん見つかる化石のゾウである。全国で約200か所の産地が知られ，北海道から宮古島にまでおよんでいる(右の図)。長野県野尻湖の湖底(下の写真)や，瀬戸内海の海底からは，とくに多くの化石が見つかっている。しかし，1頭分を復元できるほどまとまって発見された例は，千葉県印旛沼，東京都の原宿駅の真下，北海道の忠類村など数えるほどしかない。完全な頭は，千葉県から知られている。

ナウマンゾウと同じころ，ヨーロッパにはアンチクウスゾウがいた。ナウマンゾウは，アンチクウスゾウに近いゾウで,インドのナルバダゾウが祖先であるかもしれない。ナウマンゾウは，温帯の気候になじんで生活していたが最後の氷期のころに絶滅した。

図の緑色の部分は，特に化石がたくさん発見されている地域。

▶ナウマンゾウの下あご　更新世中期～後期　東京都原宿産　ひだの形がつぶれたひし形をしている。

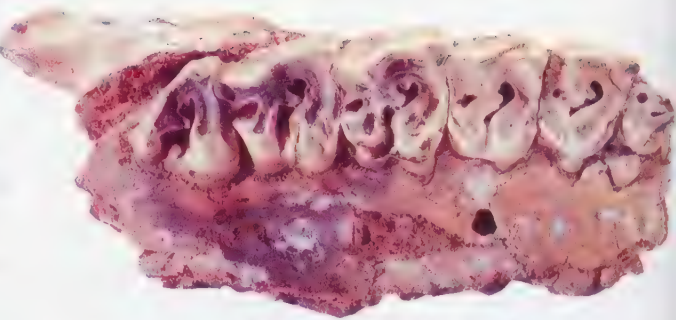
▼トウヨウゾウの下あご　更新世前期　滋賀県滋賀郡産　ひだがあらく，かみ合せの面が山のようになっている。

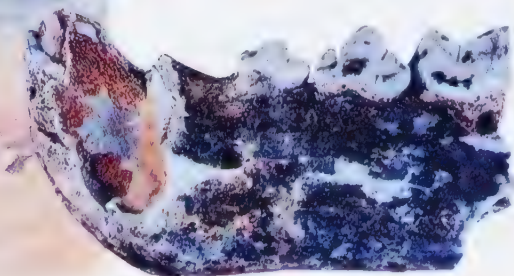
◀マンモスゾウの左上あごの臼歯　更新世後期　北海道夕張市産　ひだが平行に，たくさんならんでいる。かみ合せの面は平らである。

氷河時代の日本

氷河時代といっても，更新世の中ごろまでの，とくに氷期と氷期の間の間氷期は，わりあいにあたたかく，日本にもゾウやサイ，カメ，ワニなどがすんでいました。

山口県から見つかったライオンは，中国の周口店産のものに近く，大阪で見つかったマチカネワニは，現在東南アジアにいるワニのなかまとされています。このように氷河時代の中ごろまでの日本の動物は，中国や東南アジアから渡ってきたものが多いのです。

ところが，氷河時代の後期には，北方系の動物が大量に渡ってきました。オオカミ，ヤギュウ，ヒグマ，トガリネズミなどです。ここでは，氷河時代の日本にいた，代表的な哺乳類の化石と復元図を見てみましょう。

▲▼ニッポンサイ（奇蹄類）　更新世中期　氷河期の中ごろ，ヨーロッパや中国にいたメルキサイに近いもので，現在のスマトラサイはその生き残りである。ニッポンサイの頭に角があったかどうかはわかっていない。福岡県，山口県，栃木県などから発見されており，上の写真は山口県産の右上あご

▼◀ヤンシシ(食肉類)　更新世中期　ライオンの一種。ライオンの化石といわれるのは，山口県からだけである。ライオンより小形のトラの化石は本州や九州からたくさん見つかっている。下の写真は左側の下あごで，牙が欠けている。

▼◀オオカミ(食肉類)　更新世後期　日本にオオカミがすみついたのは，更新世後期のころからで，明治の終わりころまで本州や北海道にいた。下の写真は，静岡県から発見されたシベリア系オオカミで，世界でも最大級の下あごである。(長さ21.5cm)

▼◀ヤギュウ(偶蹄類)　更新世後期　アジアや北アメリカにいた北方系の動物。日本からは，北海道，青森県，岩手県，長野県などから知られている。下の写真は，ハナイズミモリウシとよばれる，岩手県産のヤギュウの頭骨。

（復元図は週刊朝日による）

● 氷河時代の動物たち

氷河時代の終わり，今から数万年前には，最後の氷期がやってきて，北アメリカやヨーロッパに大氷河が発達しました。大量の海水が雪になって大陸に降りつもったため，当時の海水面は，現在より140ｍも下がったと考えられています。ここでは，水深200ｍの地点を結んで地図に示しましたが，当時の陸と海の地形はこれに近かったと思われます。最も海面が下がったときには，日本海は大きな湖になり，日本列島は，北も南も大陸と陸続きになりました。

当時シベリアには，あまり大きな氷河がみられないで，広大な大地がツンドラにおおわれました。日本では，北海道までツンドラが広がっていました。このツンドラ地帯にそって，マンモスゾウは北海道に，ヘラジカは関東地方や中部地方にまで南下してきました。そのころ本州や九州には，中国大陸にいた動物たち，つまりナウマンゾウやサイ，ツキノワグマ，トラ，オオツノジカなどが，まだすんでいました。

この図からも，日本の動物は，機会があるたびに，北や南から移動してきた動物たちがまじり合ったものであることが，読みとれるでしょう。

（このページの動物については，E.テニウスの資料，植物相については，鈴木秀夫の資料をもとにしました）

むかしの動物 今の動物

現在日本にいる動物は，いつごろ現われたのでしょうか。奄美大島のアマミノクロウサギや西表島のイリオモテヤマネコなどは，第三紀時代の古い性質をもったもので，生きている化石です。かなり古い時代に北アメリカの方からきたものでしょう。

第四紀更新世の中ごろには，ツキノワグマやアナグマ，シカやタヌキ，サルなど，現在でもなじみの深いものがたくさん現われました。これらは中国大陸や東南アジアからきたものが大部分です。

最後の氷河期にはヘラジカ，トナカイ，マンモス，ヤギュウ，ヒグマ，オオカミなど北方の動物が南下してきました。北海道にいるナキウサギやシマリスなども，この時代にきたものと考えられます。

下の絵は，今から数万年前の最後の氷期ごろ，日本列島にいた動物です。これらの動物の半分はほろんでしまいました。ほろんだものは大形の動物が多く，現在まで生き残っているものは，シカやイノシシのように，からだが小さくなる傾向がみられます。(下の絵で，紫色の動物はほろんだものです。)

●第四紀の動物の移り変わり

下の表は，日本の第四紀(更新世～現世)に限り，おもな動物の出現した時期やほろんだ時期を示したものです。表で実線の部分は，化石などによりいたことが確実なもので，破線の部分は，たしかな証拠はないが，おそらくいたと思われることを表わしています。

イリオモテヤマネコ
オオヤマネコ
トウホクヤチネズミ
ハタネズミ
アマミトゲネズミ
ケナガネズミ
アマミノクロウサギ
セマルハコガメ
ヒョウ
トラ
ナウマンゾウ
マンモスゾウ
ヘラジカ
オオツノジカ
ヤギュウ
ヤンシシ
レミング
タイリクヤチネズミ
ステゴドンゾウ
ミヤタハコガメ
オオヤマリクガメ
パラステゴドンゾウ

モモンガ
ムササビ
ワシ
ナウマンゾウ
ニホンムカシジカ
カワウソ
ヤチネズミ
クマネズミ
ヤギュウ

陸続きだった沖縄

今は離ればなれの琉球諸島も，むかしは大陸の続きで，全島がつながっていたことがありました。地質の研究から，琉球諸島が島になったのは，第四紀時代のかなり古いころであったと考えられています。ところが，化石として出てくる動物を調べてみると，これまで考えられてきたこととたいへんちがう結果がでてきました。

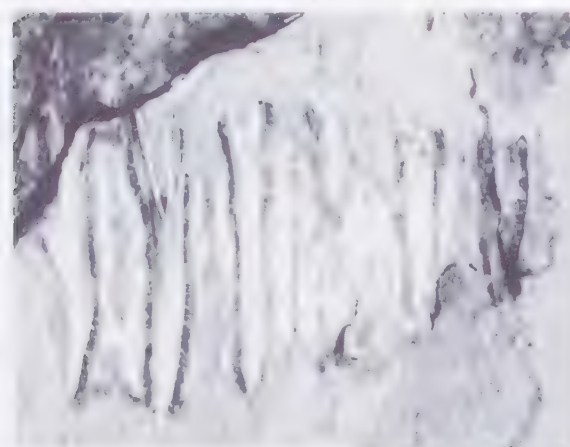
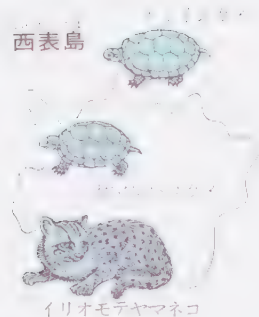
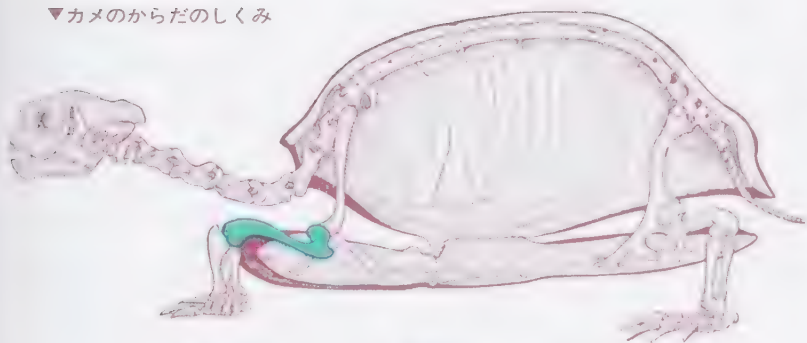
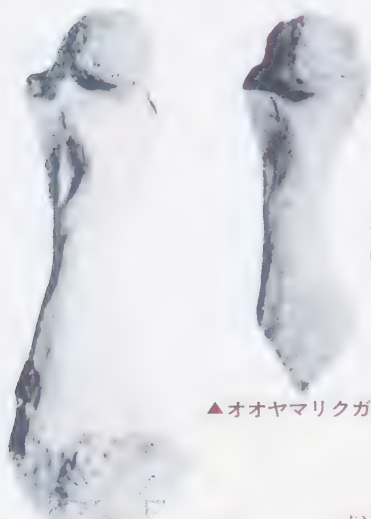
下の図は，化石で見つかった動物や，現在琉球諸島にいるおもな動物(緑色のもの)の分布を示したものです。動物の化石は，琉球石灰岩とよばれる，サンゴ礁からできた地層の中から発見されました。この石灰岩は第四紀の時代にできたもので，その中のどうくつたい積物にふくまれる動物の化石も第四紀のものです。発見された動物の種類も，第四紀のものであることがわかります。

下の図のように，第四紀の沖縄島や宮古島には，ナウマンゾウのなかまや，リュウキュウジカがいました。また，現在西表島や石垣島にいるセマルハコガメは，かつてはもっと北の沖縄島にまでいました。ぎゃくに，ケナガネズミは，現在奄美大島や沖縄島にいますが，むかしはさらに南の宮古島まで分布していました。

ゾウやシカ，セマルハコガメなどの陸の動物は，海を渡って遠くまで泳ぐことは考えられません。だから，第四紀に琉球諸島一帯は陸続きだったと考えられます。

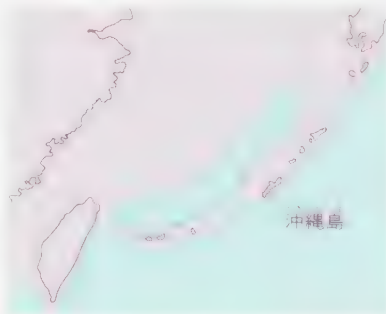
アマミノクロウサギやイリオモテヤマネコなど，もっと古い型の動物の化石は，まだ発見されていません。そのため，これらの動物が，いつ，どこからきたのかはわかっていません。島になるような環境は，からだの大きい動物にとってはすみにくいのですが，アマミノクロウサギのような小形の動物にとっては，強い競争相手もなく，長い間生き続けてくることができたのでしょう。

▼ゾウの一種　子ゾウの歯の化石で，沖縄島の南のはしにあたる喜屋武岬の海岸で発見された。ナウマンゾウのなかまで，第四紀の更新世に，大陸から渡ってきたものである。この化石は，第四紀に沖縄島が大陸と陸続きだったことを証明するもので，この例のようにたった1個の化石でも，過去の歴史を研究する大きな手がかりになる。

▼キシャバマメジカの一種　大きさは現在のジャコウジカ(体長約1m)くらいで，沖縄島に広く分布していた。日本からははじめて見つかったシカで，もともと南の方にいたと思われるシカである。いっぱんに大形の哺乳類は，島にすみつくと，だんだん小形になる。沖縄のシカの化石は，もともと小さい種類のものであるが，やはり小形化した傾向がみられる。

▼カメのからだのしくみ

◀**オオヤマリクガメ**　下の左の写真は上腕骨で，左の図の緑色の部分にあたる。上腕骨の大きさから，このカメは甲らの長さが約50cmあったと思われる。めずらしく大きな陸ガメだが，まだ完全な甲らは見つかっていない。おそらく，現在東南アジアにいる最も大きなカメに近いなかまであろう。

▲**リュウキュウヤマガメの上腕骨**
(甲らの長さ13cm)

▲**オオヤマリクガメの上腕骨**

▲**オオヤマリクガメの上腕骨**

▼現在の琉球諸島は，下の図のように，約1000ｍも海が浅くならないと，大陸につながらない。琉球諸島が第四紀に陸続きだったとすると，その後にたいへん大きな地殻変動があったことになる。

▼第四紀の更新世に琉球諸島にいた，陸生のおもな動物の分布を表にすると，下の図のようになる。こうするとそれぞれの島の続きぐあいや，今の動物が，このころの生き残りであることなどが読みとれるだろう。

	西表島	石垣島	宮古島	沖縄島	奄美諸島
ケナガネズミ					
トゲネズミ					
リュウキュウジカ					
ナウマンゾウ(?)					
オオヤマリクガメ					
セマルハコガメ					
ミナミイシガメ					

化石と人類

第四紀は，人類の時代ともよばれ，人類が誕生し，世界じゅうに広がった時期です。化石も，自然のままでなく，人類の祖先が手を加えたと思われるものが，たくさん見つかっています。

東ヨーロッパのウクライナ地方やポーランドなどにはマンモスゾウの骨でつくった家(→P.79)やビーナスとよばれる彫刻品，おびただしい量のマンモスゾウの骨をすてたごみすて場などが見つかっています。こうした遺物がふえた時期と，マンモスゾウがほろんだ時代は，ほぼ一致します。そのため，マンモスゾウは人類にほろぼされたといわれています。日本でも下の写真のように，ナウマンゾウの牙を加工してつくったビーナスと思われるものが見つかっています。ヨーロッパやシベリア，おそらく日本でも，更新世の後期には，すでに自然環境に影響をあたえるほど，人間がふえていたのでしょう。

歴史時代にはいると，アメリカのバイソンやマストドンゾウ，日本のカワウソやオオカミのように，人間によって極端に数がへらされたり，ほろぼされた動物がたくさん知られています。

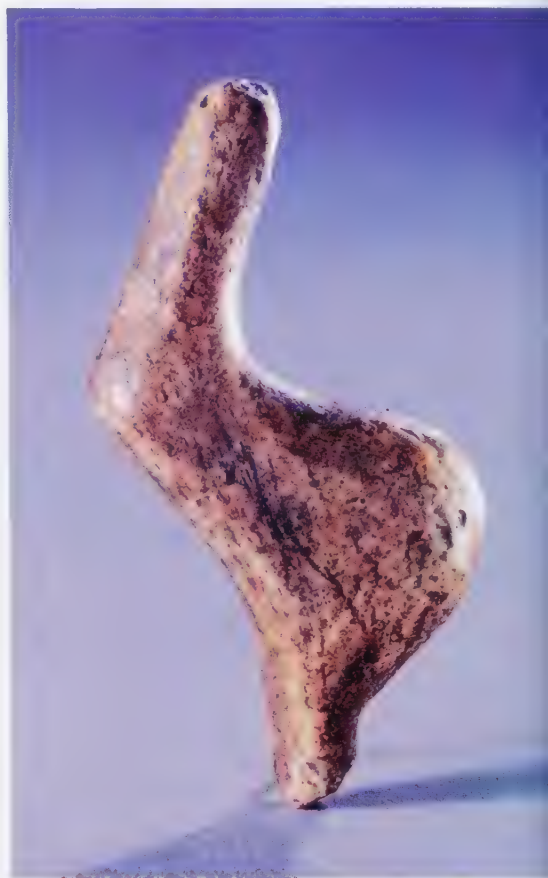
わたしたちは，いちどほろぼしてしまった動物を，ふたたび生きかえらせることはできません。人類はまだ，自然物をつくり出すことができないからです。

わたしたちは，これ以上自然をこわさないよう，たいせつにしていかなければなりません。

◀長野県の野尻湖の湖底から見つかった加工されたと思われる，ナウマンゾウの牙。写真は実物大。約3万年前のもの。

▼瀬戸内海の小豆島沖から見つかった，加工されたと思われる牙。たくさんのナウマンゾウの化石といっしょに海底から引き上げられたもので，写真は実物大。

▼チェコスロバキアのモラビア地方の遺跡から見つかったビーナス像。氷河時代の狩人が，お守り用につくったものと思われる。約2万年前のもので，高さ4cmほどの小さなもの。

岩石

リョクショクヘン岩の川岸にできたかめ穴(甌穴)

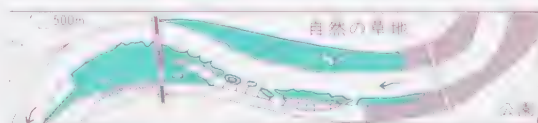
川のようすと水のはたらき

人間の生活と文化のはじまりは，たいてい大きな川の流れにそって起っているのがふつうです。川は，人間にとってたいせつな自然のめぐみを与えてくれる一方，ときにははげしい洪水をもたらしてきました。そこで，堤防をきずいたり，ダムをつくったりして，川がつくってくれた広い土地を，人間は大いに利用してきました。

しかし，それは自然を利用しながらも，自然にさからうことにもなりかねません。人間も，ヒトという生きものとして自然のなかまと考えると，そのような自然の中でのかかわりあいのたいせつさを，いま地球全体の人間が，いろいろとまじめに考えさせられています。

川は，山の中の水源地に生まれて，しだいに水量をまし，中流から下流へと流れ下って，ついには海へ流れこみます。川の流れは，その間に土地にはたらきかけ，変化に富んださまざまな地形を生み出します。川の水量や流れ方も一定ではなく，そのときそのときでさまざまに変化します。

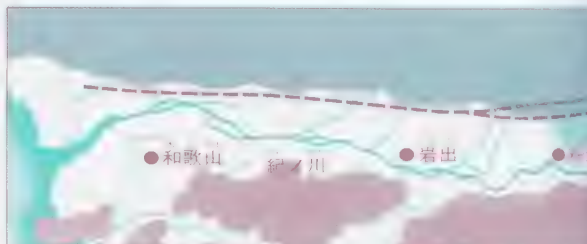
このように川は生きているのです。ですから，川にそって見られる川岸のようすや，川原の砂や石ころのようすも，いろいろと変化していきます。

自然と人工　大阪の淀川ぞいの川原は，大都市に近いだけに，いろいろと利用されてきたが，まだ自然の草地がところどころに残されている。

▲自然の草地　▲川原につくられた公園

川をさかのぼって観察してみよう

大阪に近い紀伊半島には，日本列島を北側と南側とに分ける中央構造線とよばれる部分があり，紀ノ川はその線にそって流れています。この紀ノ川ぞいに川の水のはたらきのようすを観察してみましょう。

下流

川はばが，上流や中流にくらべて広く，ゆったりとした流れで，川口も近い。潮入り川といって，潮の満ち引きで水位が変わる。潮が引いた干潮のときには，川岸には，細かいれきや砂が見えるようになる。

川の両側は広い平地をつくっていて，南側の山地（おもに変成岩でできている）と，北側の和泉山地（中生代の和泉層群とよばれる地層）とは遠くはなれている。

下流

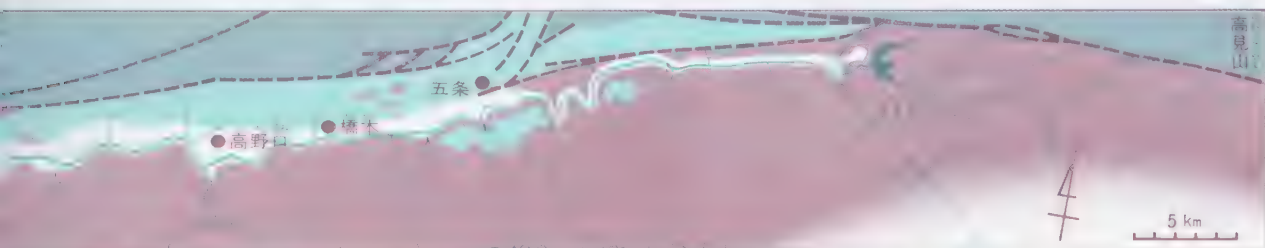
▲**蛇行**　川岸のどちらかをけずりはじめると，しだいに川の流れが変わり，ことに広い平地では，流れがまがりくねって蛇行する。

▲**三日月湖**　蛇行がひどくなると，しまいにはくびれたところがつながり，もとの流れがとり残されて三日月湖になる。

中流

川岸には，平らな面をもった河岸段丘と山地がせまり，その一部は島になって流れにはさまれている。砂や石ころの川原では，水の流れで運ばれてきた石ころが，流れの方向(左……下流)に重なりあっているのがわかる。

上流

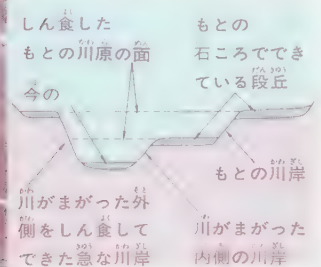
川の両岸がそそり立って，せまい谷（峡谷）になり，水の流れも速い。川底にも岩があらわれていて，川の流れのけずる力のはげしいことがわかる。岩のくぼみのところには，かなり大きい角ばった石ころが，よせ集められている。

川の南側の山地は，川岸までせまってきている。北側には，丘陵地や台地状の低い山地があり，その後ろに和泉山地がひかえている。（破線は断層線）

川の流域は，大部分が変成岩類でできていて，けわしい峡谷をつくっている。ダムもつくられていて，高見山（1249m）は，県境の分水嶺の１つになっている。

中流

◀きり立ったがけと川原　流れがまがった外側では，川岸をけずる力が強くはたらいてがけになり，もう一方の岸には，砂や石が運ばれてきて川原になる。

▼河岸段丘　川原よりも高い平らな面がなん段も見える。地盤の上昇によってできた。

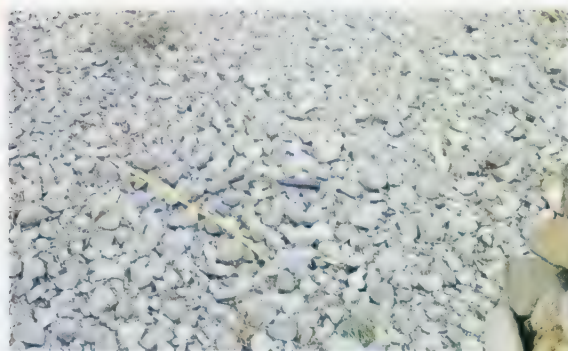
しん食した
もとの川原の面
もとの
石ころでできている段丘
今の
もとの川岸
川がまがった外側をしん食してできた急な川岸
川がまがった内側の川岸

上流

▲V字谷　川の流れが急で速いため，岩をけずる力がはげしく，V字形の谷ができる。

▲かめ穴(甌穴)　石ころや砂まじりのはげしい流れのうずのために，川底の岩に，まるい穴があけられたもの。

川原の石を集めてみよう

川原一面の石ころの集まりには、色も形も大きさも、いろいろなものがあります。ちょっと見ると、ただでたらめな石ころの集まりのように思われます。

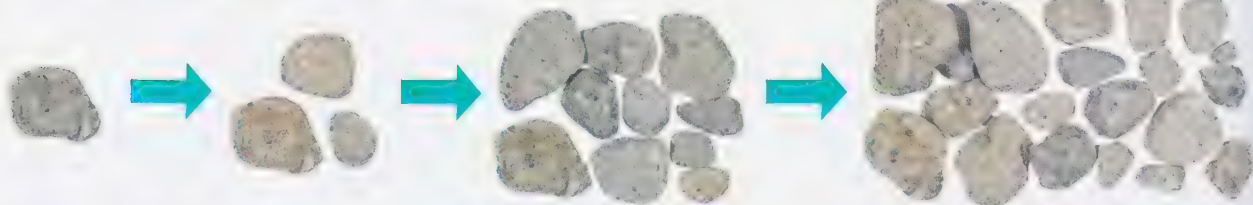
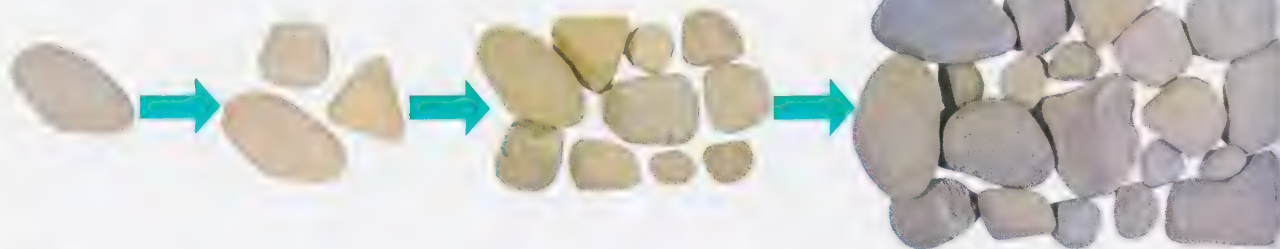
しかし、川の水の運ぶ力（運搬作用）でここまで流されてきたものですから、その中には、自然のすがた（運ばれる間の石ころの旅とでもいったようす）をとどめているにちがいありません。ここでは、石集めや石ころ遊びの中から、その特徴を見つけ出してみましょう。

●枠を作って石ころを集める

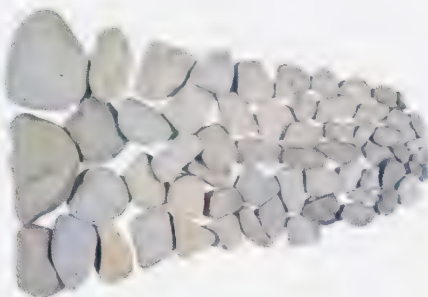
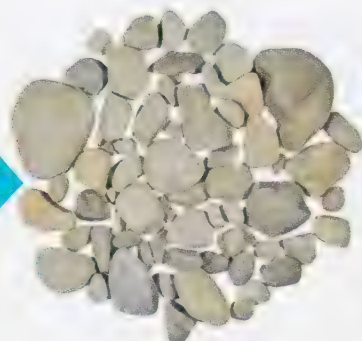
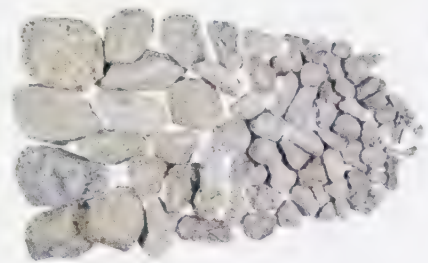
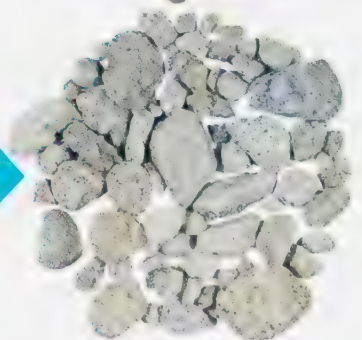
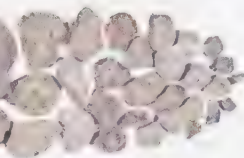
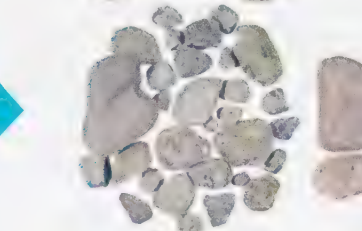
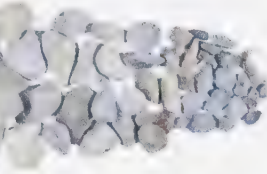
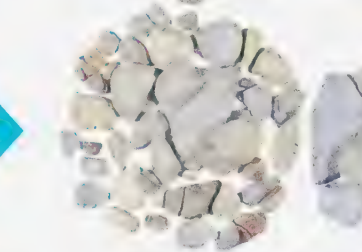
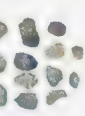
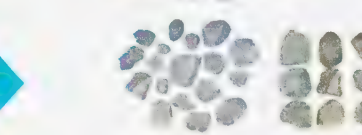
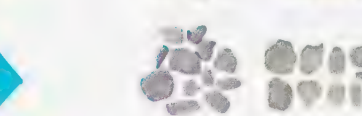
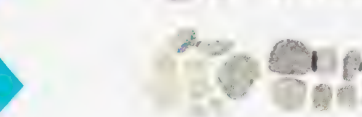
川原の一部に、1メートル四方の枠を作って、その中の表面の石ころ（だいたい梅ぼしぐらいの大きさ以上のもの）を全部集めます。

この方法は、自分の好きなものだけ集めるのではなく、この川原の石ころの集まりの中から、代表といえるものを集めることになるわけです。

●石ころのなかま分けをする前に

石ころのもとになった岩石の種類を調べて分類するというようなかたくるしいことではなく、まず手始めに、ある特徴をもった石ころを1こ、つづいてにたものを2こ、3こと集めてみましょう。

すると、にたものどうしの石ころが、みるみるうちにその特徴がはっきりとしてきます。1こや2こでは、あまりはっきりとした区別がつけにくいものですが、たくさん集めたものどうしでは、それぞれ形や手ざわりのようすがまるでちがって見えるようになります。

手ざわりやつくりのにたものどうしを集めていく

●にたものどうしをなかま分けする

はじめに集めた枠内の石ころの集まりを，なかま分けしてみましょう。すると下のように7つのなかまに分けられます。こんなにまで，それぞれ特徴的，個性的なものがはいっていたということは，はじめからは予想できなかったことです。でたらめな集まりのように見えた石ころの集まりの中に，このような自然のすがたが残されていたわけです。

◀ざらざらした手ざわりと，かなり角のとれたまるみの多い石ころの集まり。この集まりはサ岩。

◀上のサ岩の石ころとは，模様(つくり)も形も，少しちがっているカコウ岩のなかま。形が少し角ばっているだけで，サ岩にかなりにているものも多いようだが，小さくなるほどこわれて，形がくずれていくように見える。

◀レキ岩のなかま。ほかのものとくらべて，やはりようすのちがいがわかる。

◀この石ころの集まりが，最も角ばっている。火山岩のなかまで，石ころになる前のもとの岩石のこわれ方のようすなどの特徴を残していることが予想できる。

◀この石ころの中でいちばんかたいが，そのわりに角がとれてすべすべしていて，色もいろいろなものがある。チャートとよばれる，海にたい積した硅質のかたいたい積岩で，レキ岩のれきがほぐれて，川の石ころに生れ変わったものでしょう。

◀ここではいちばんやわらかいデイ岩の石ころ。角がとれてまるみをもつかわりに，こわれやすくて，かえって角ばっている。しかも小さくて量も少いので，ここから下流に行くうちに，デイ岩の石ころは目立たなくなってしまうことが予想できる。

◀その他の，特徴のつかみにくいよくわからない石ころ。

石ころのようすの変化を調べてみよう

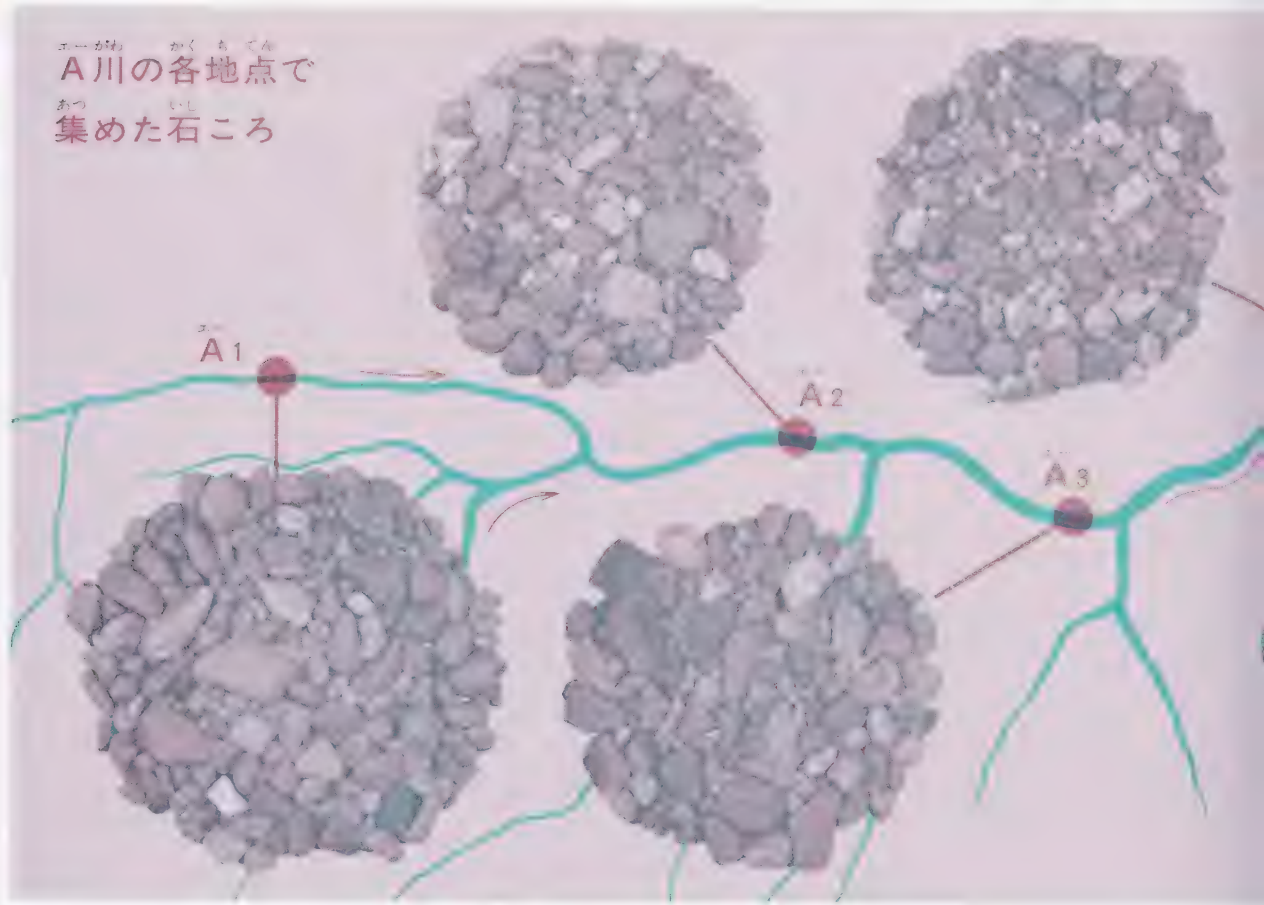
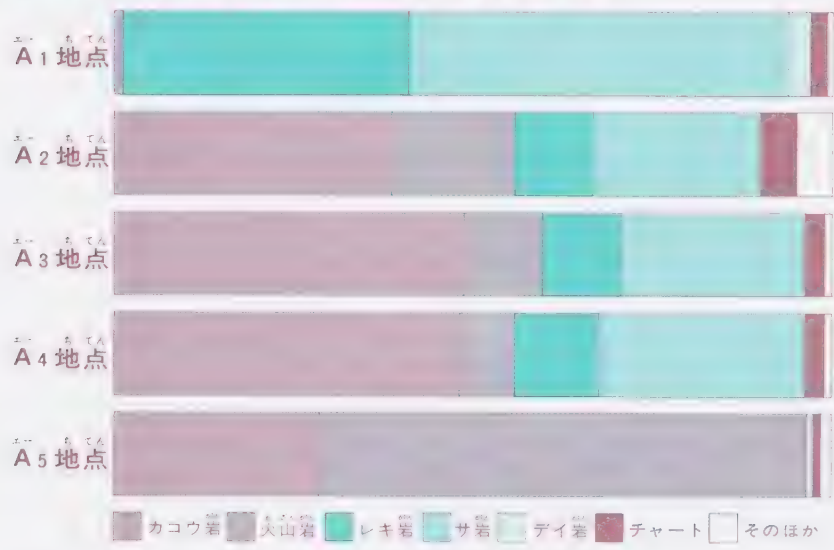
川原の石ころの集まりを調べてみると，ただでたらめにそこにあるわけではなくて，形や大きさか，石ころの種類ごとに，それぞれ特徴があることかたしかめられました。（100ページ）

そうすると，ただ上流から下流へと石ころは小さ

A川の各地点で集めた石ころ

A1

A2

A3

●A川の各地点ごとの石ころの種類と割合

・デイ岩は，たちまち見られなくなってしまう。たぶん細かいかけらに割れていって，ついにはどろつぶになってしまうのでしょう。

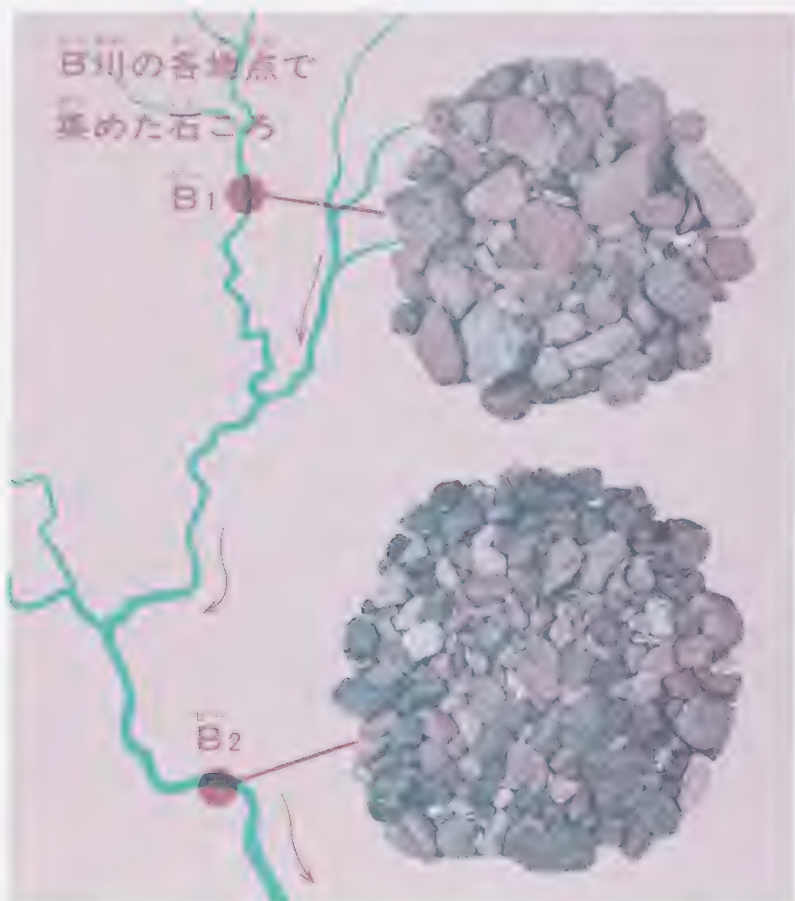
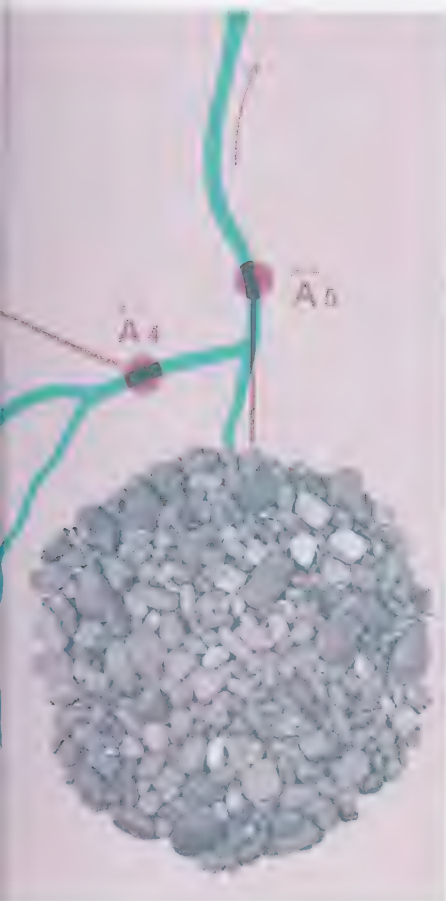
・いちばんかたいチャートは，量は少なくても，どこまでも消えずに生き残っていく。

・途中の支流や本流から運ばれ，なかま入りした火山岩の石ころは，角ばったままで量の変化が目立つ。

・これから先，海岸まで運ばれていくうちに，さっさと砂つぶやどろつぶになって水の流れにのって旅を急ぐもの，ゆっくりゆっくりすりへりながら長生きするものなど，石ころの性質によって，それぞれいろいろな生き方をしていく。

くなり，角がとれてまるみをおびていくといったような見方だけでは，すまされないことになります。

川原の場所ごとに，石ころの集まりかたがどのような組み合わせに変わっていくか，また，石ころの種類ごとに，ふくまれる割合がどのように変わっていくかを調べてみましょう。その中から，川原の石ころの旅（おたがいにこすり合い，けずり合い，こわし合いながら変化していくようす）のことがわかりそうです。

ここに，A川とB川とをとりあげ，各地点ごとに，川原の1メートル四方の石ころを集めてみました。

●A川とB川のサ岩だけでくらべた石ころの変化

A1

A2

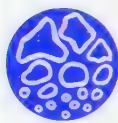
A3

A4

A5

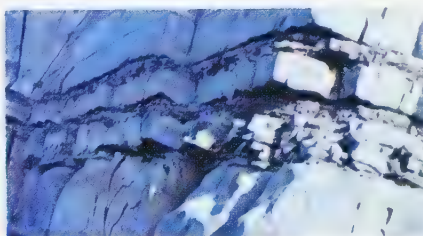
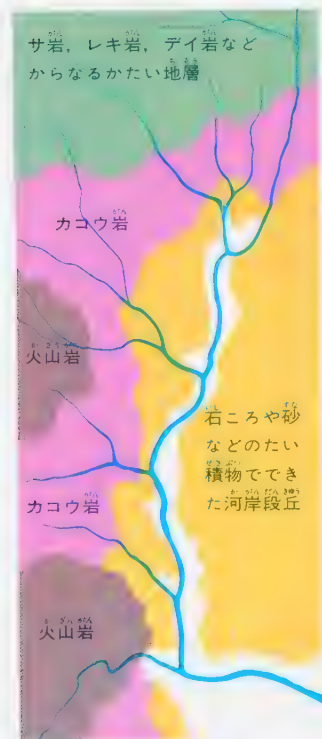
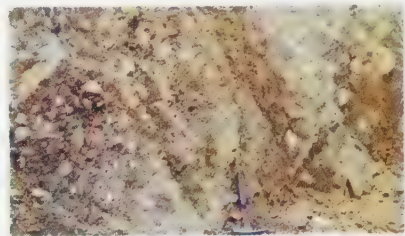
小さくなって角がとれていく

◀A川のサ岩だけで見た石ころの変化　A_1地点からA_5地点までの，上流から下流へと，地点ごとにサ岩を大きさの順にならべる。上流から下流へと，いちおうは一般的な変化（角のとれ方）をたどっている。

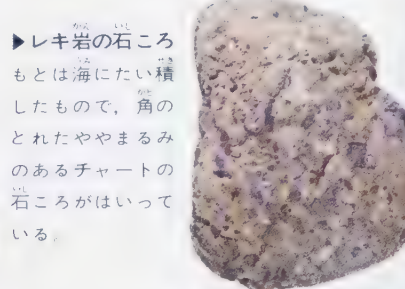
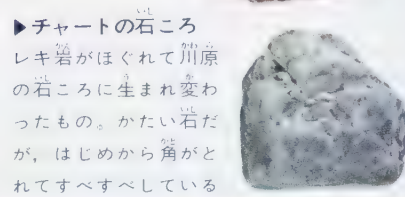
▼B川のサ岩だけで見た石ころの変化　B_1地点（上流）とB_2地点（下流）のサ岩をくらべると，この川では2地点とも，その大きさや形にあまり差がない。これは，B川はA川よりもずっと古い時代の地層からこわされて石ころになったサ岩で，ひじょうにかたいだけでなく，ひび割れが多くて，角ばったかけらになりやすいためである。

石ころのもとをさがそう

川原の石ころの形や大きさなどが，石ころの種類ごとに個性的な変化をすること，また，川ごとにもちがいがあることがわかりました。（102〜103ページ）

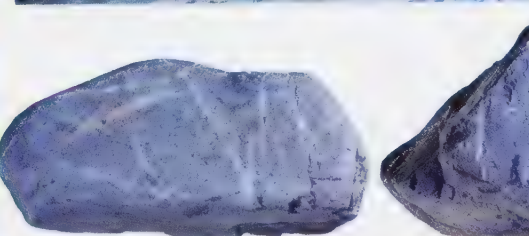
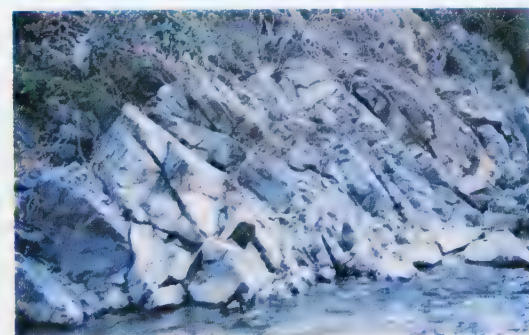
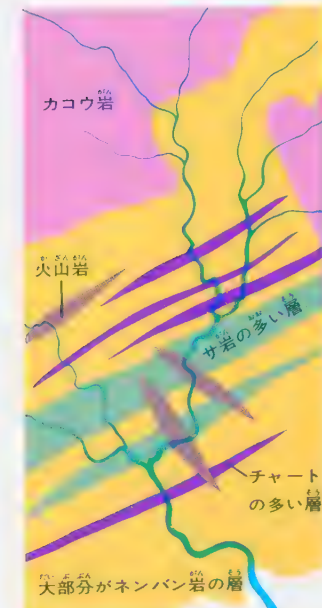
そこで，こうした石ころのようすは，それらのもとになる岩石のようすとも関係があるにちがいないということ

●A川の露頭と岩石

▲サ岩とデイ岩の露頭　サ岩とデイ岩からなる層の重なり合い

▲レキ岩の露頭　サ岩の層の間にはさまれている。

▲サ岩の石ころ　砂つぶがこすりとられて角がとれ，まるみがかっている。

▲デイ岩の石ころ　デイ岩は細かいかけらになってくずれやすいが，これは形がいびつだが角がよくこすりとられている。

▶レキ岩の石ころ　もとは海にたい積したもので，角のとれたややまるみのあるチャートの石ころがはいっている。

▶チャートの石ころ　レキ岩がほぐれて川原の石ころに生まれ変わったもの。かたい石だが，はじめから角がとれてすべすべしている。

●B川の露頭と岩石

◀ネンバン岩とサ岩の露頭　A川ぞいの地層よりはずっと古い時代の地層なので，かたくてひび割れが多い。黒っぽい色の部分はネンバン岩で，ネンバン岩の間にはさまれた白っぽい部分はサ岩の層。

▲サ岩の石ころ　ひび割れにそって割れて，もとのサ岩のようすをそのまま形に残している。

▲ネンバン岩の石ころ　かたいがややはげやすく，またひび割れも多い。

▲レキ岩の石ころ　やや角がとれかかっている砂まじりのレキ岩。

とが考えられます。A川とB川について，石ころのもとをさがしだすことにしましょう。

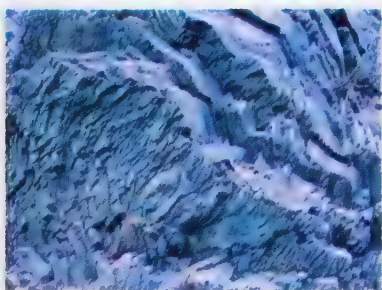
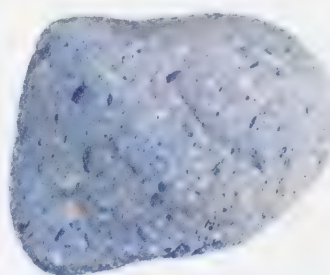
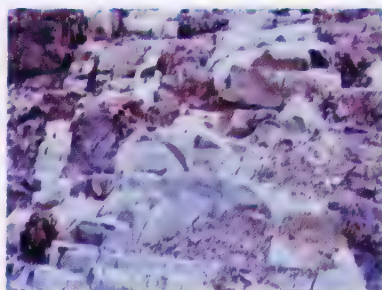
川岸に出ている岩石の露頭を観察すると，岩石のこわれ方，くずれ方（風化のしかた）がちがうことがわかります。それが，石ころの形や大きさのはじめのすがたを決めるわけです。

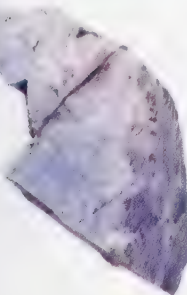
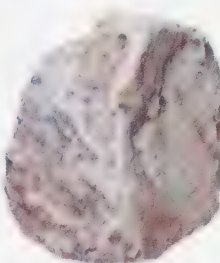
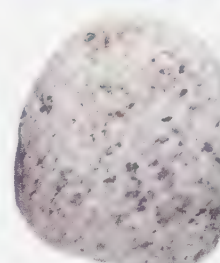
川の水のはたらきが，同じような力ではたらきかけても，岩石の性質やその組み合わせのちがいで，そのあとに見られる石ころの旅のしかたのようすは，ちがっていくということになります。

◀カコウ岩の露頭　大きな割れ目（方状節理）のあるカコウ岩は，割れ目にそってこわされ，風化しやすいため，まるみのある大きな石のかたまりができやすい。このまま川に落ちこむと，上流でも，はじめから大きくて，角のとれた石ころになる。

▲火山岩の露頭　（左）カコウ岩よりももっと割れ目（節理）が多く，角ばったかけらになりやすい。（右）はじめから角ばった火山噴出物のかけらが，ギョウカイ岩の層の中にふくまれている。

▶カコウ岩の石ころ　つぶがあらく，こわされてはぎとられやすいので，小さい石ころになるのもはやい。

▶火山岩の石ころ　角ばった火山岩のかけらが川原の石ころになったもの。サ岩の石ころとはかなりちがった形をしている。

▲チャートの露頭　層状で，ひじょうにかたいたい積岩。うすいでい質の層をはさんで，しま状の重なり合いになっている。

▲火山岩の露頭　B川ぞいの古い時代の地層（ネンバン岩）の割れ目の中にはいりこんだ火山岩の岩脈。（白っぽい部分）

▲カコウ岩の露頭（石切り場）

◀チャートの石ころ　層状のチャートがデイ岩とのさかいではげ，またひび割れのために角ばった形になっている。

◀火山岩の石ころ　角ばったかけらになりやすい。

◀カコウ岩の石ころ　B川のかたい岩石の石ころといっしょに運ばれるので，とくに角がとれている

川と海の水のはたらき

たい積岩には、いろいろなでき方があります。しかし、川や海の水のはたらきで、けずられ、運ばれ、そして積もることによってできるのがふつうです。たい積岩を観察する前に、川原や海岸の石ころの集まりのようすから、川や海の水のはたらきを見ることにしましょう。

ここの海岸には、石ころの浜(A)と、川がそそぎこんでいる浜(B)と、細かい石ころと砂の浜(C)とがありま

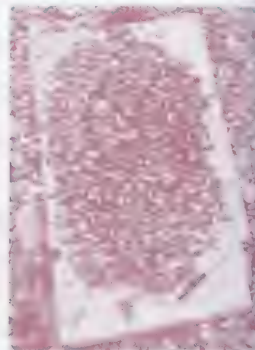
●石ころの浜(A地点)

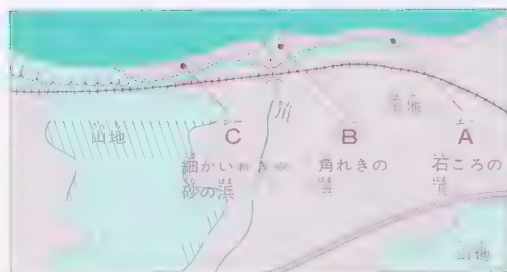
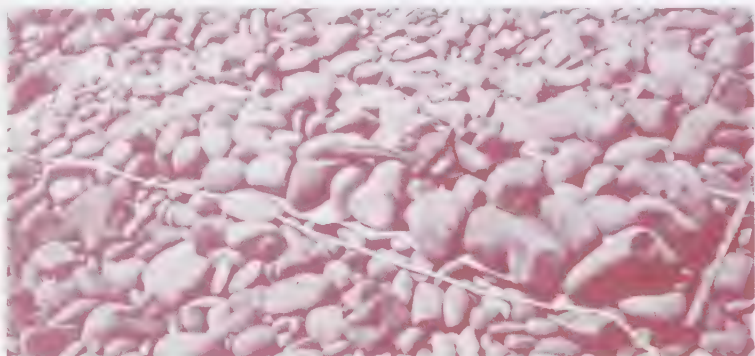
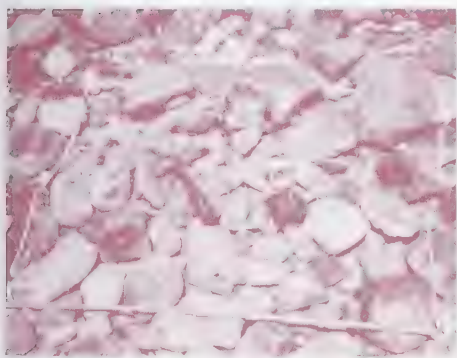
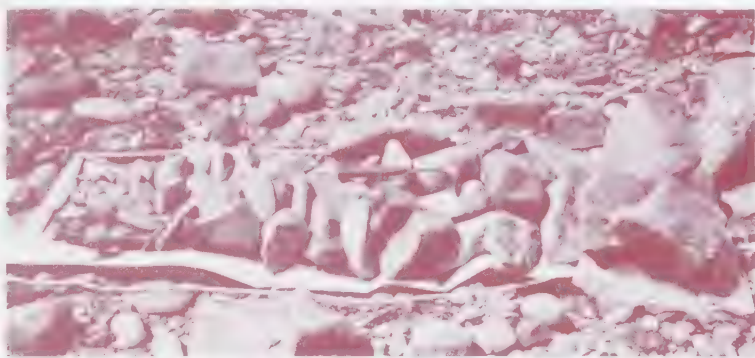
▲波打ちぎわの石ころは、たえず音を立てながらころがっている。

●川口の石ころの浜(B地点)

▲川口の石ころは、角ばっていてころがらず、タマキビやカニなどのすみ場所になっている。

●細かい石ころと砂の浜(C地点)

▲レキ岩の層がはさまれた海岸のがけ　細かいチャートの石ころのもとになっている。

▲C地点　細かいものが多いので、ある量だけ集めてみた。

す。そして，ここの石ころや砂のもとになった地層は，近くの山地や海岸のがけにあります。その地層は，大部分が厚いサ岩とうすいデイ岩の層が重なり合ったもので，ときにはレキ岩の層が，その間にはさまっています。海岸の大部分の石ころが，ほとんど同じサ岩なので，A地点の海の波のはたらきと，B地点の川の水のはたらきのちがいが，この２地点の石ころのようすから読みとることができます。

▲A地点　１ｍ四方の枠を作り，その中の石ころを集める。

▲集めた石ころ（大部分がサ岩）を，だいたいの大きさの順にならべると，しだいに角がとれて，まるみのある石ころに変わっていくようすがわかる。この石ころの集まりから，よせては返す波の力が，よくはたらいていることがわかる。

▲B地点　１ｍ四方の枠を作り，その中の石ころを集める。

▲この地点では，大きく角が残ったままの石ころが多く，大きさの順にならべても，それほど形の変わりばえがしていない。まだ，海岸の波のはたらきをあまりうけていないのだろう。

▲8 mm，4 mm，2 mm，1 mmの４種類のふるいで分けてならべたもの
小さくなるほど角がとれるサ岩の石ころは，さらに小さくなると形がくずれていって，しまいには角ばった砂つぶになる。チャートは，小さくて角がとれた石ころになり，サ岩のれきと入れかわっていく。（→110ページ）

水のはたらきと石ころの形

よせては返す波打ちぎわで、たえずころがっては打ちよせられた石ころは、よく角がとれていて、まるみがあります。

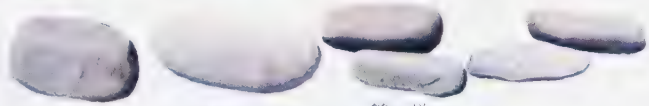
ここの海岸（107ページのA地点）では、その大部分がサ岩の石ころばかりで、とてもよく形が整っていて、川原の石ころとは形がちがいます。

よく見ると、ただまるみがあるだけでなく、いくつかの形のちがいがあるのに気づきます。ときには、サ岩の石ころの中の砂つぶのあらさ、細かさのちがいで、しま模様がよくわかるものがあります。

▲ほとんどサ岩の石ころばかりの海岸

▼少しいびつな形の石ころ

▼しま模様のあるたて長のコッペパン型の石ころ

▼横長のコッペパン型の石ころ

▼まんまるいボール型の石ころ

▼ホットケーキ型の石ころ

▼たてにおいたコロッケ型の石ころ

●石ころを集める

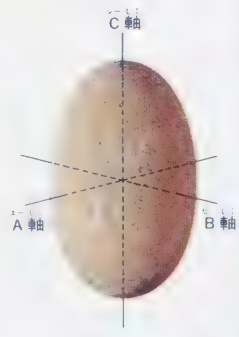
サ岩の石ころの中の砂つぶのならび方のようすに注意して、形のにたものを集めてみました。

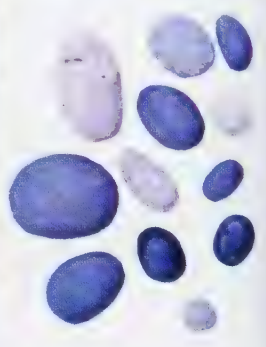
いちばん左側の大きい石ころは、まだあまり波のはたらきをうけていないものです。もとの形を示すものかも知れません。そして、右側へと石ころが小さくなるほど、形が整っていきます。

このようにいろいろの型に区別できるのは、石ころのもとになったサ岩がたい積したときの砂つぶのならび方によるものです。

●海岸の石ころの形

石ころに、長い軸、中くらいの軸、短い軸の3つの軸を考え、その軸を中心に回転してみると、つねに同じ形に見える。

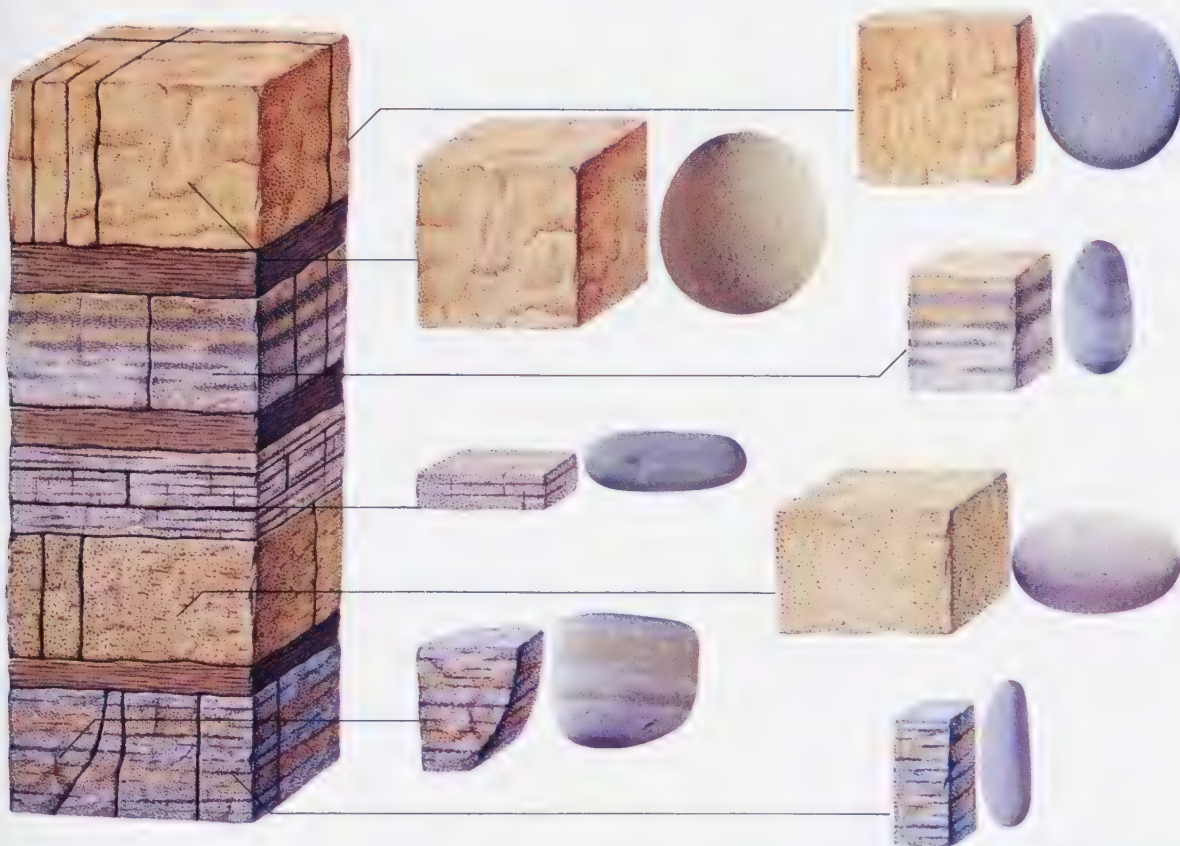
これを回転楕円体といい、海の石ころの特徴になっている。

▼能登半島鹿頭海岸

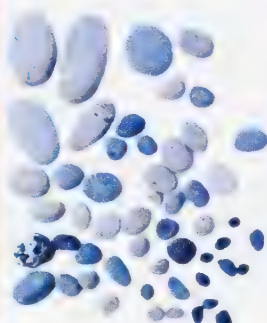
石ころの種類によって、3つの軸の長さがちがう

●石の割れ方と形

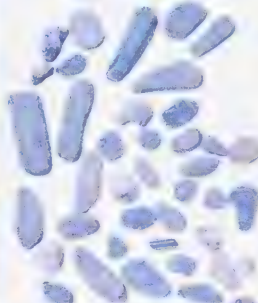
サ岩の石ころの形がいろいろな型に区別できるのは，石ころのもとになるサ岩の層にわけがあるのです。

海岸ぞいにあるこのサ岩の層には，いろいろなはばのたての割れ目(節理)と，横の方向の層理面や，たい積のときの砂つぶのならび方によるはげやすい面とが見られます。下の図は，そのこわれ方を示したものです。

このことから，石ころの形は，ただでたらめに細長かったり，まるみがかったりしているのではなく，それぞれもとのすがたや特徴をもとにしていることがわかります。

▲節理(割れ目)や層理のあるサ岩の露頭

▼和歌山県御坊，煙樹浜海岸

サ岩がいちばん角がとれて整った形をしている

▼和歌山市新和歌浦海岸

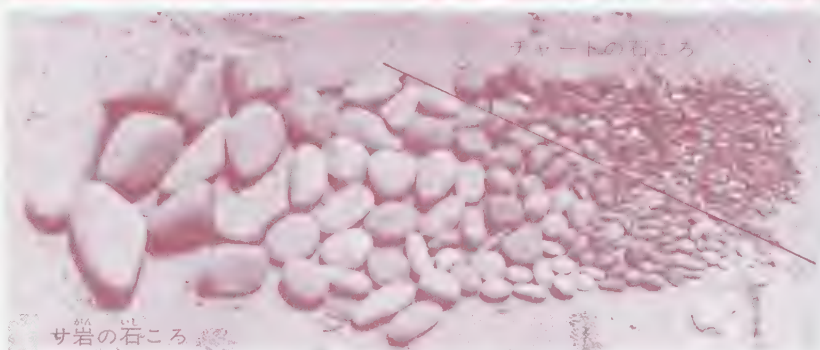
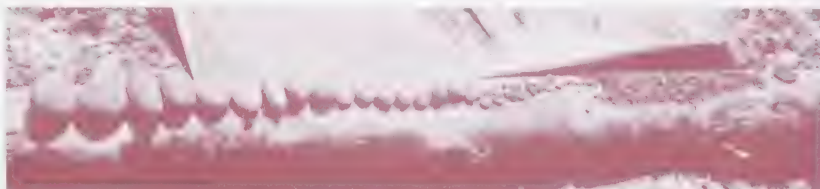
うすくはげやすい結晶ヘン岩類なので，平たい形をしていて，ころがりにくい。

海岸の石ころのすみ分け

サ岩の石ころの浜で，石ころの大きさや形の変化のようすを，いろいろと調べてきました。（106～109ページ）

ここでは，それらの石ころがどのような大きさや形に変化し，どのようにすみ分けていくかを，2つの海岸で調べてみましょう。

●サ岩から チャートへの入れかわり

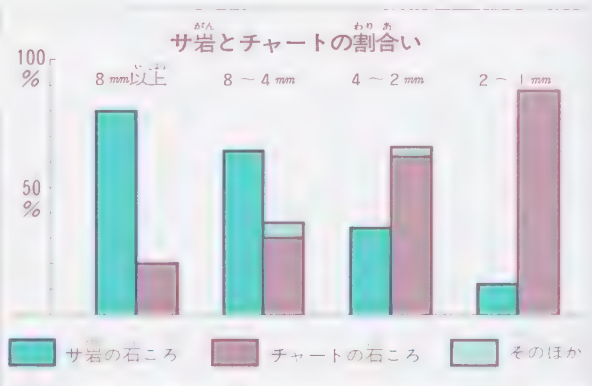
細かい石ころが，砂浜の波打ちぎわに打ち上げられている海岸（107ページのC地点）で，足もとにころがっている石ころを，大きなものから，しだいに小さいものへとならべてみました。

すると，サ岩は小さくなるほど（アズキつぶぐらい）まるみをましていきますが，反対に形が悪くなり，角ばった小さいかけらになります。そして，それとは別に，ある大きさからは，角のとれたチャートの小さいれきに入れかわっていきます。

▲サ岩からチャートへ　サ岩の石ころは，小さくなるほど角がとれていくが，しまいには角ばったかけらになりはじめる。ある大きさからは，チャートの細かい石ころに入れかわっていく。

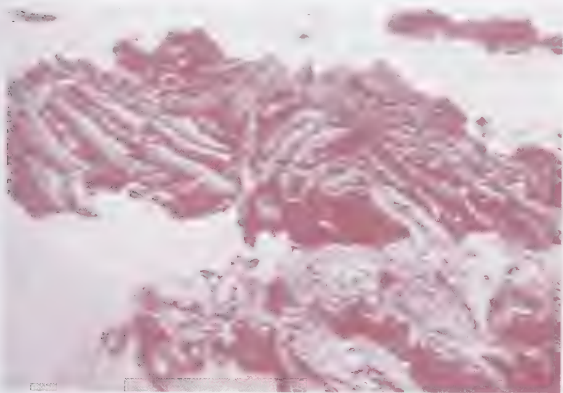
●サ岩とチャートの割合

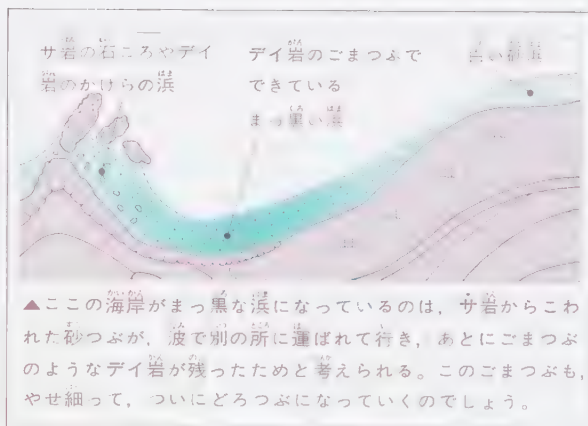
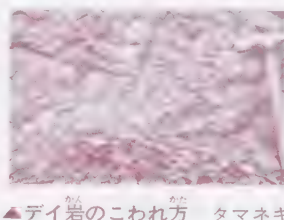
この砂浜の細かい石ころまじりの砂を，ふるいを使って4種類の大きさに分けます。そして，1㎜以下の砂はのぞいて，それぞれの大きさごとに，サ岩とチャートについて重さをはかり，グラフにしてみました。

すると，そのグラフから，サ岩からチャートへの入れかわりのようすが，はっきり読み取ることができます。

このように，サ岩は，しまいに砂つぶになって波にあらわれながら運ばれやすくなり，チャートは，まだ小さい石ころとして生き残っていくのです。

●サ岩からデイ岩への入れかわり

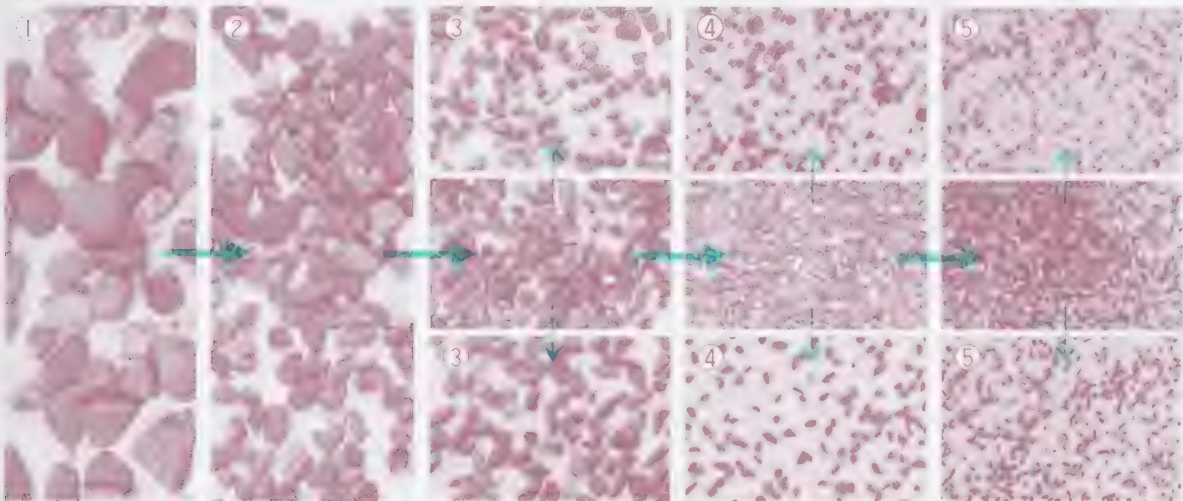
この海岸に見られるがけや磯の地層は，サ岩の層はうすく，全体としてデイ岩の層が多くなっています。

うすいサ岩の層の部分は，小さい箱型にこわれていきます。デイ岩は，はじめからぼろぼろに細かくくずれて，角ばったかけらになっています。

▲サ岩とデイ岩の露頭　うすいサ岩とデイ岩からなる層が，くり返し重なり合っている。

▲ここの海岸がまっ黒な浜になっているのは，サ岩からこわれた砂つぶが，波で別の所に運ばれて行き，あとにごまつぶのようなデイ岩が残ったためと考えられる。このごまつぶも，やせ細って，ついにどろつぶになっていくのでしょう。

▲サ岩のこわれ方　うすい層のサ岩は小さい箱型にくずれる。

▲デイ岩のこわれ方　タマネギかユリの球根のようにはがれやすく，角ばったかけらになる。

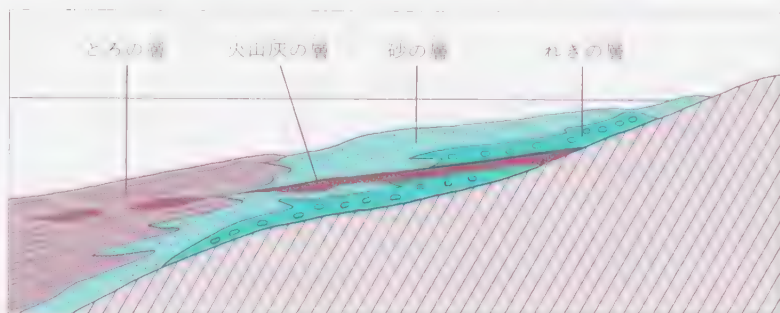
●サ岩とデイ岩のふるい分け

細かい石ころから砂の部分を，ふるいを使って5種類に分けて，サ岩とデイ岩のつぶが，どのように変わっていくかを見てみましょう。

サ岩　①まだまるみがある。②形が悪くなりはじめる。③角ばって形がくずれていく。4ほとんど砂つぶになりはじめる。⑤砂つぶ

デイ岩　1ややや角ばっている。2角が取れていく　③ますます角が取れていく。④ごまつぶのようになる。⑤細かいつぶ。

●地層のでき方

だんだんと細かいつぶが，海岸から沖の方へと運ばれて，地層ができていくようすを示したものです。

この海岸では，そのもとになる砂つぶやどろつぶのすみ分けが行なわれていることを，実際に観察することができたわけです。

川の砂と海の砂

川原の石ころと海岸の石ころについて、形や大きさの変化のしかたのちがいを、観察することができました(106～111ページ)。

それなら、もっとつぶの細かいもの、つまり川原の砂と海岸の砂からも、それぞれ水のはたらき方のちがいを見出すことができるにちがいありません。

そこで、川の砂と海の砂をふるいで分けて、砂のつぶのようすを見ることにしましょう。

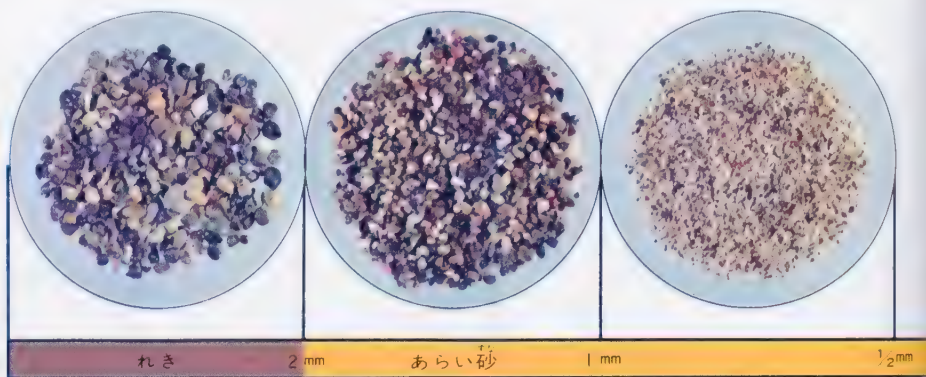
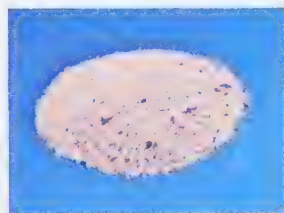
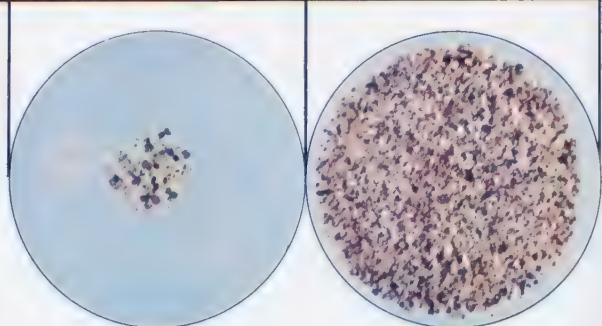
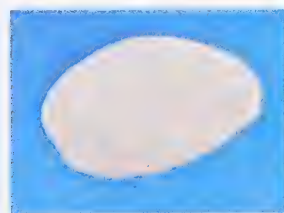
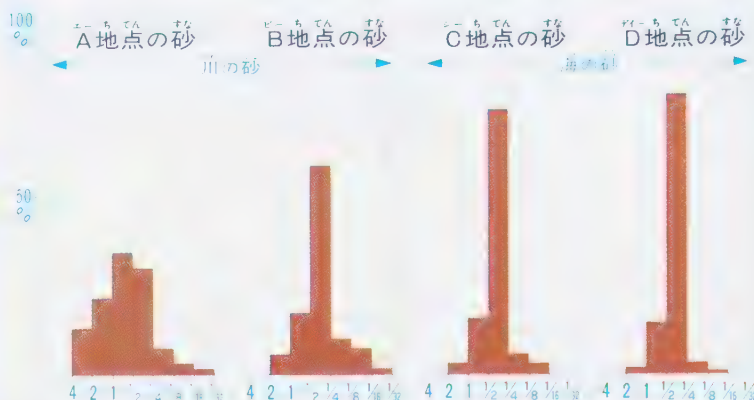
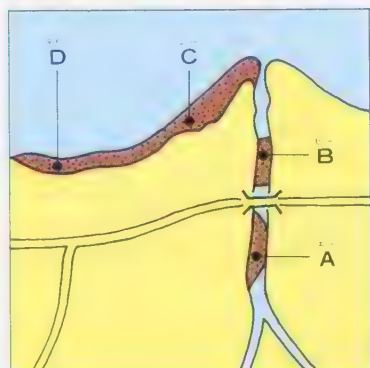
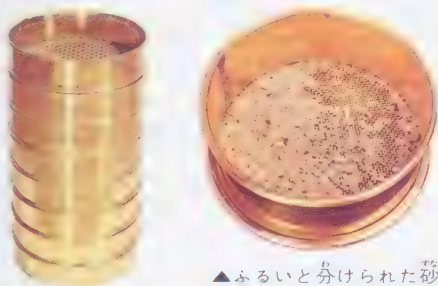
●砂をふるい分けて、グラフにする

ある川を下って、海岸の砂浜に出るまでの間に、4つの場所で砂を集め、それぞれのふるいの上に残った砂の重さをはかって、グラフを作ってみました。

グラフでくらべてみると、川の砂はつぶがあらくてふぞろいですが、海の砂は細かくてよくつぶがそろっていることがわかります。

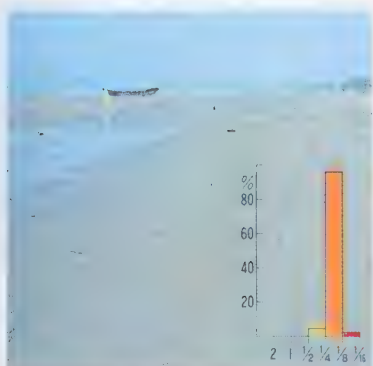
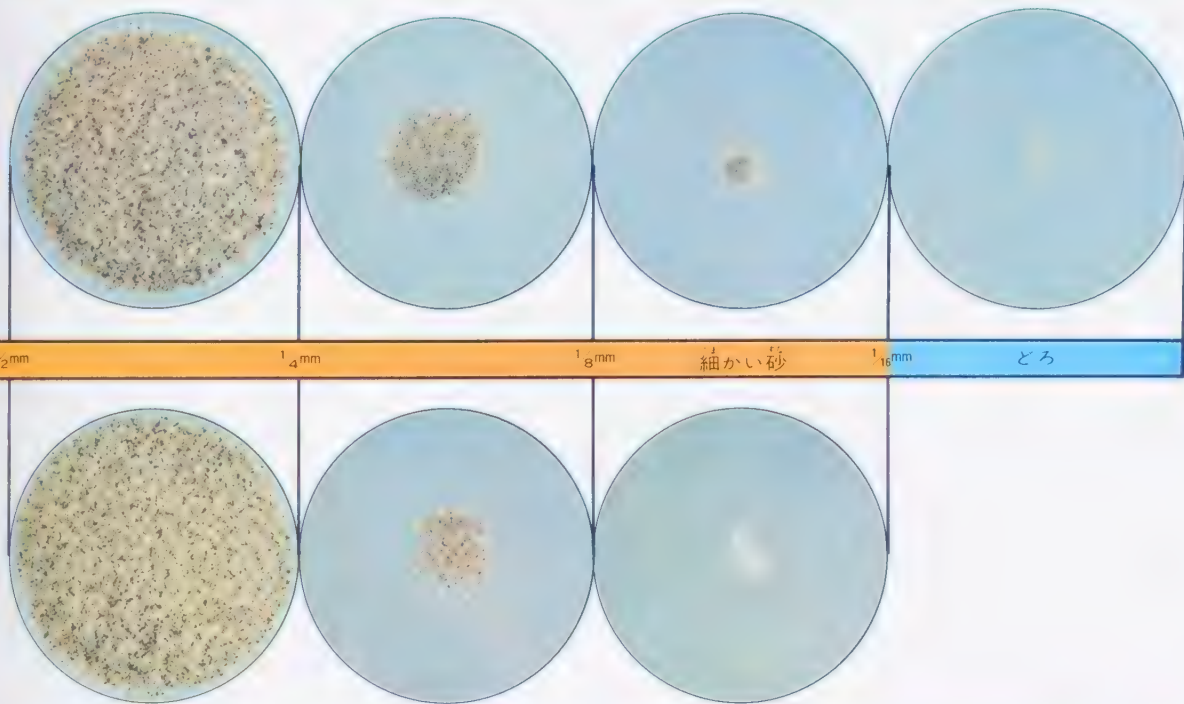
川の流れは運ぶ一方ですが、海岸の波は、砂つぶをたえずゆさぶりながら、よくふるい分けているといえます。

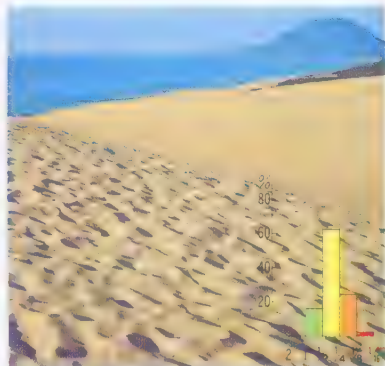
●川の砂
(A地点)

れき　2 mm　あらい砂　1 mm　1/2 mm

●海の砂
(D地点)

●砂つぶの大きさの割合

集めた砂をふるいに通して分けます。ふるいは上から下へあなが小さくなっているので、砂はつぶの大きさごとに、ふるいの中に分けられます。それを、ふるいごとに重さをはかり、グラフにします。

▲ふるいと分けられた砂

▲つぶの大きさごとに、砂をふるい分けていく。

▲ふるい分けた砂のそれぞれの重さをはかる。

1/2mm　1/4mm　1/8mm　細かい砂　1/16mm　どろ

▲能登半島の千里浜　よくしまった細かい砂の浜で、つぶの大きさがよくそろった砂

▲京都府の琴引浜　砂の上を歩くと、キュッキュッと音を立てる。中くらいの大きさで、かなりつぶがそろった砂

▲鳥取砂丘　中くらいの大きさで、ややつぶがそろった砂

たい積岩をつぶの大きさで分ける

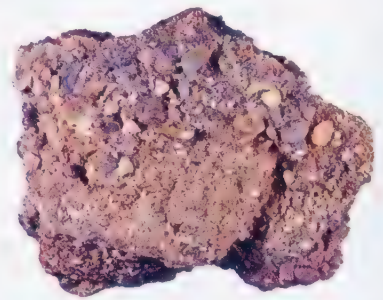
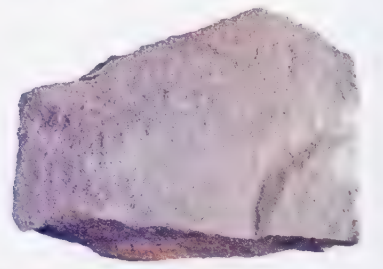
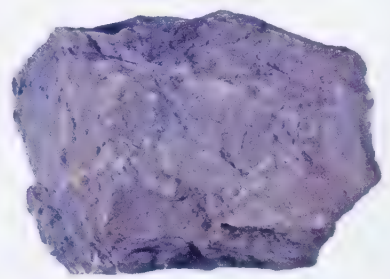
れき，砂，どろというのは，つぶの大きさを表すことばで，それが何でできているかということまではわかりません。たとえば，セキエイやウンモの多いあらい砂ということで，はじめてそのつぶの大きさと内容がわかることになります。

つぶの大きさは，下の図表のように区別しています。

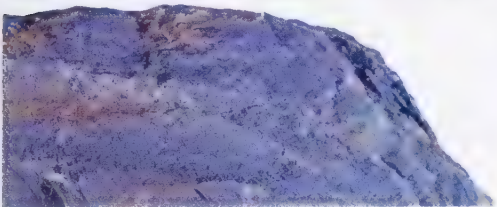
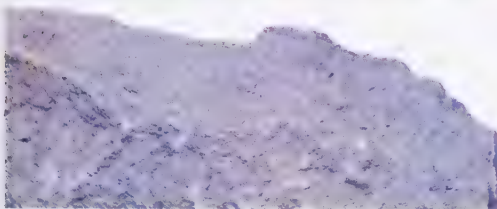
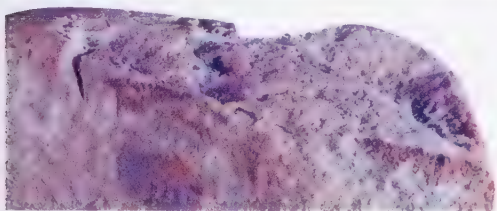
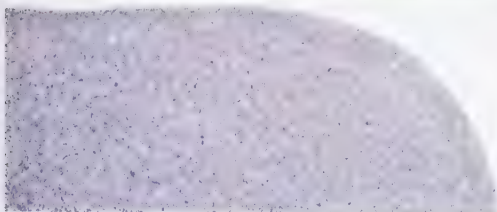
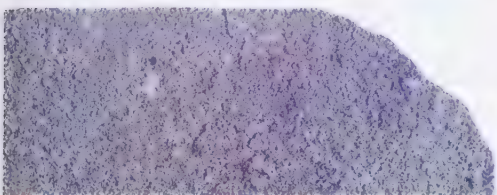
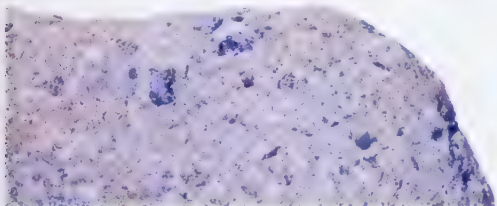
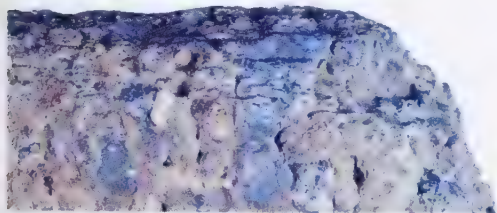
大きさ	つぶの名まえ		固まったもの	
mm	れき		レキ岩（大部分がれき）	
2 1 1/2 1/4 1/8	砂		サ岩（大部分が砂）	
1/16	どろ	シルト	デイ岩（大部分がどろ）	シルト岩
1/256		ねん土		ネンド岩

●たい積岩の種類

2mmより大きいつぶをれき，2mmから16分の1mmまでのものを砂，それ以下のものをどろといい，さらに，256分の1mmより細かいものをねん土といいます。

自然のたい積物では，れき，砂，どろといっても，それらがいろいろの割合で，まじりあっているのがふつうです。

▲レキ岩　れきのふくまれる割合が，全体の50%以上のもの。れきとれきとのすき間には，砂やどろがはいっている。

▲サ岩　砂の割合が，全体の50%以上で，砂つぶのすき間にどろもはいっている。ときにはれきがはいって，岩ころまじりのサ岩というのもある。

▲デイ岩　どろの割合が全体の50%以上のもの。どろに砂つぶなどがまじって，でい質のサ岩とか，砂質のデイ岩など，いろいろなものがある。

●レキ岩からデイ岩へ

れき，砂，どろのふくまれる割合で，レキ岩からデイ岩まで，いろいろのものがあります。

●たい積岩のかたまり方

たい積岩は，れき，砂，どろなどが厚く積み重なって，その重みでおしかためられるだけではありません。

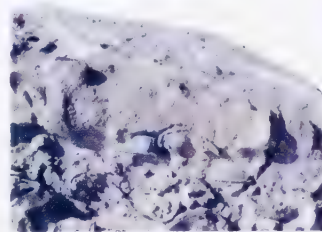
砂や石ころだけをおしかためようとしても，すぐばらばらになってしまいます。海岸のしめった砂でおにぎりを作るとかたまりますが，かわくとまた，ばらばらになってしまいます。

さらに，ねばりけのあるねん土は，かわくとかたくなりますが，水やねん土のほかにも，れきや砂つぶのすき間を，うずめる何かがあって，それがかためる役目をしています。

▲ピーナツチョコレート　ピーナツとチョコレートをまぜるとかたまる。このチョコレートは，ピーナツのはいったレキ岩ということになる。

▲ポンポンあられ　にぎっただけではばらばらになる米つぶも，さとうみつをまぜるとかたまる。

石灰質のサ岩を顕微鏡で見ると，砂つぶのすき間を，石灰分がうめていたり，ホウカイ石がうめていたりしています。このように，地下水などが地層の中を通るときに，石灰分やケイ酸分や鉄分などをすき間に沈殿させて，岩石をかためる役目をしています。チョコレートや砂糖みつのように，やはりかためるものが必要なのです。

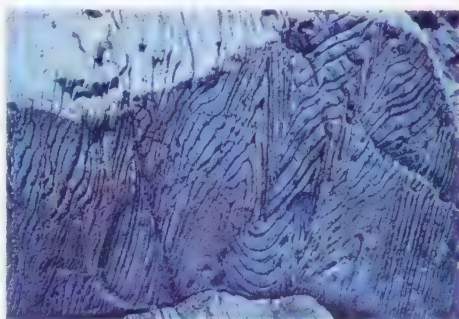
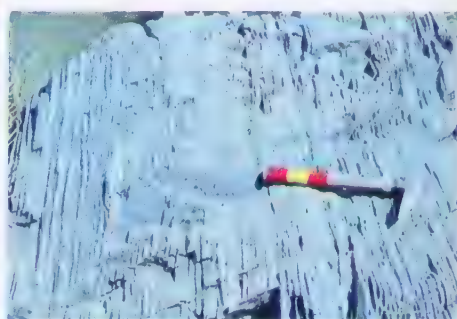
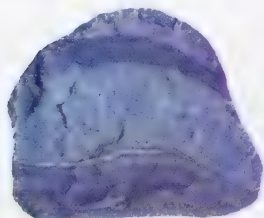
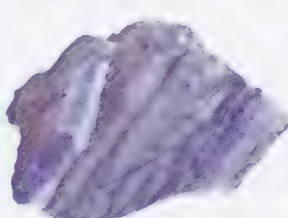
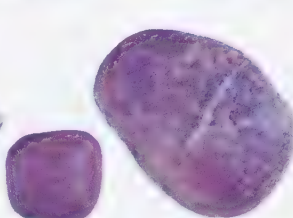
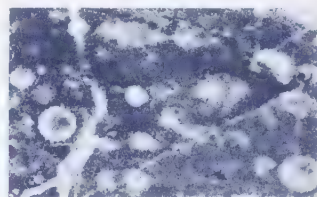
▲顕微鏡で見た石灰質のサ岩　貝のかけら（A）や，いろいろな鉱物のかけらがあり，その間を，石灰質の砂やどろがうずめている。その一部はホウカイ石（B）になっている。

▲貝の化石のはいったサ岩

たい積岩のいろいろ

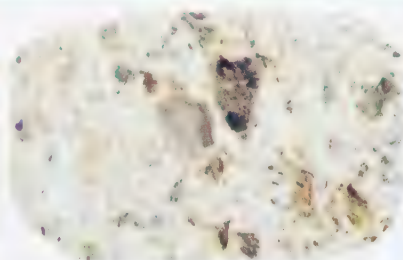
レキ岩，サ岩，デイ岩は，ふくまれるつぶの，大部分(50%以上)が，それぞれれき，砂，どろであることを示すことばです。それに，さらに内容を示すことば，たとえば石英質とか石灰質とかの中味を表わすことばがついて，たい積岩としてのいろいろな種類を示す名まえになるわけです。

ここでは，その他にも，ふつうに見られるたい積岩として，チャートとセッカイ岩をとりあげました。ギョウカイ岩は，どちらかといえば，火山噴出物のなかまに入れるほうがよいのですが，ふつうのたい積岩とくらべる意味で，ここでもとりあげてみることにしました。

●チャート

チャートの露頭を上から見ると，細かくたい積しているように見えますが，割れ目(節理)の断面では，層状で，ひじょうに複雑におりたたんだようなしゅう曲模様をしています。

▲断面で見たチャートのしゅう曲模様

▲上から見た層状のチャートの露頭

▲層状のチャート　ひじょうにかたいケイ酸質の岩石で，黒いでい質の部分がうすくはさまれている

▲割ったチャート　層状にはげやすい面と，ひび割れの面とで割れ，角ばったかけらになる

▲チャートの石ころ　よほど長い時間か長い距離を運ばれたか，または，海岸の波でよくみがかれたかしてできたもの

▲顕微鏡で見たチャート　たくさんのケイ質の微生物(ケイソウ類)の遺がいが見られ，水で運ばれてたい積したようすもわかる

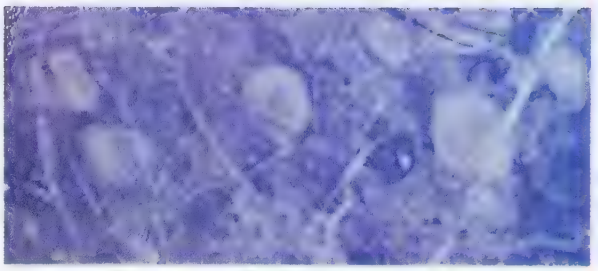
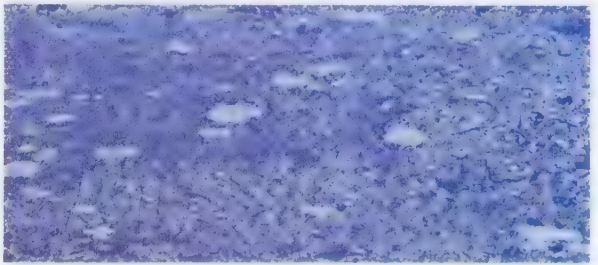
●ギョウカイ岩

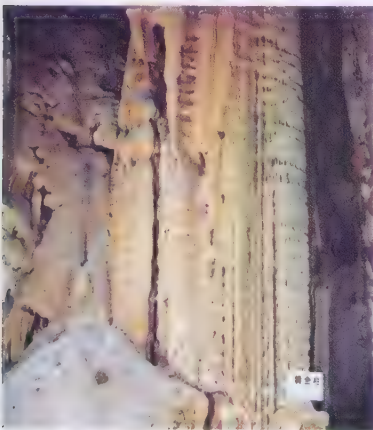
▲ギョウカイ岩の露頭　層状に重なりあった地層だが，ふつうのたい積岩とはちがって，火山灰や軽石などの火山噴出物でできている

▲ギョウカイ岩　軽石のはいったもの

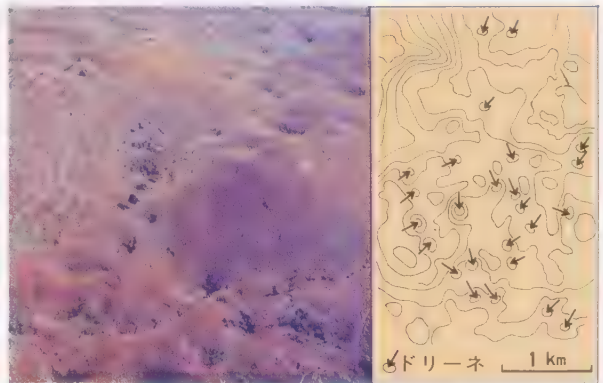
◀層状のギョウカイ岩　細かい火山灰の部分に，小さな軽石のかけらが浮かんでいるので，水の中にたい積したことがわかる

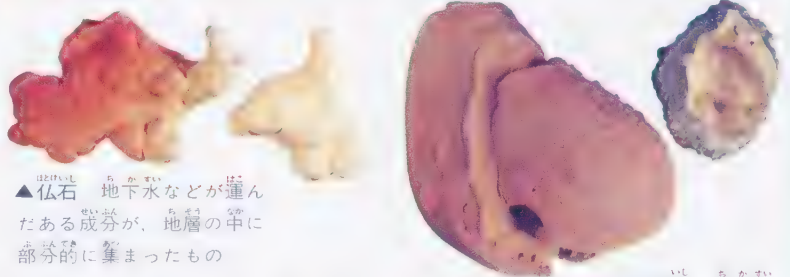
▲水の中のギョウカイ岩とサ岩の石ころ　軽石質のギョウカイ岩は水に浮かび，サ岩の石ころは底にしずむ

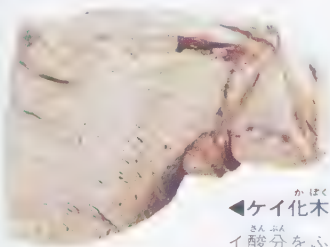
●セッカイ岩

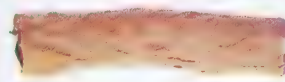
セッカイ岩は、大部分が炭酸カルシウムでできていますが、わずかにほかの成分もまじっていて、いろいろな色や模様をしています。セッカイ岩地帯には、地下水のはたらきで、ほらあな（鐘乳洞）ができている所が多く、地表にも、ドリーネというへこみのある地形ができたり、カルストというしん食地形が見られたりします。

▲セッカイ岩　ホウスイ虫の化石がはいっている

▲カルスト地形（山口県秋吉台）

▲セッカイ岩　ホウスイ虫の化石が、海水のはたらきで、ゆさぶられたり運ばれたりする間にやせ細ってたい積したもの

◀鐘乳石　石灰分をとかした地下水がしたたり落ち、水がじょう発して石灰分がかたまってできた柱（山口県秋芳洞）

▶ドリーネ（山口県秋吉台）

●変わった形のたい積岩

地層ができるときや、地層がかたまる前などに、いろいろな成分が集まって、変わった形のかたまりができることがあります。

▲仏石　地下水などが運んだある成分が、地層の中に部分的に集まったもの

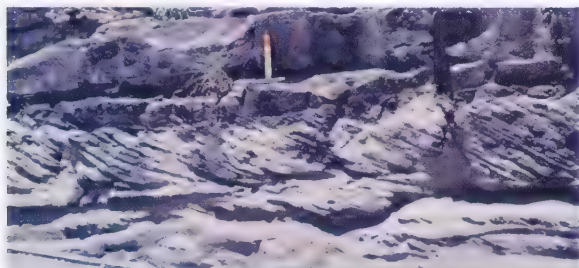
▲つぼ石　地下水などが運んだ鉄分が、地層の中に部分的に集まってできたもの

◀ケイ化木　樹木がケイ酸分をふくんでかたい石になったもの

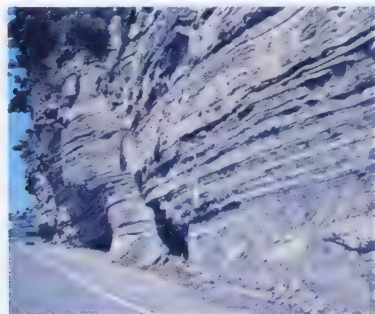
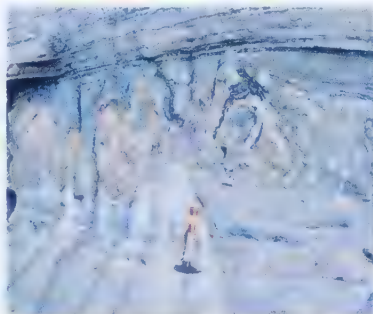
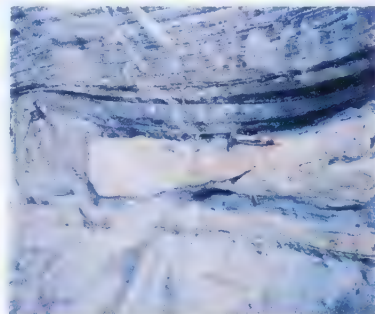
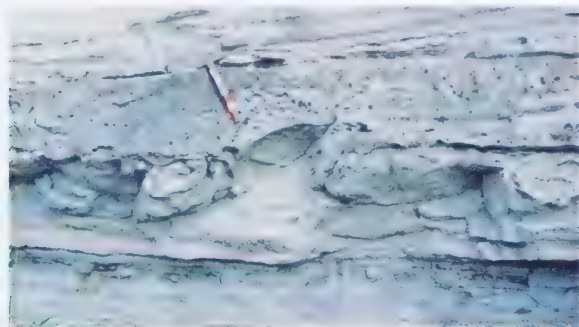
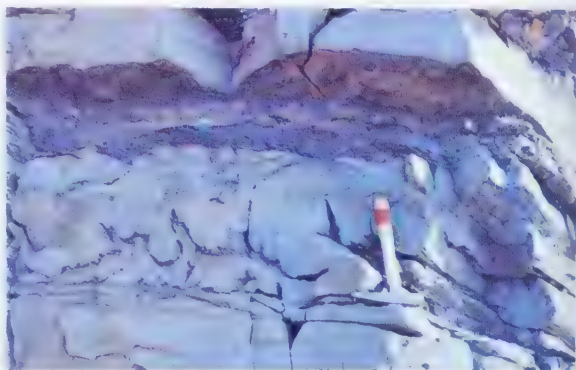
▲ノジュール　貝がらをかこんで地層の中にできた石灰分の多いかたまり

◀高師小僧　木の根のまわりに、鉄分がたまってできたもの

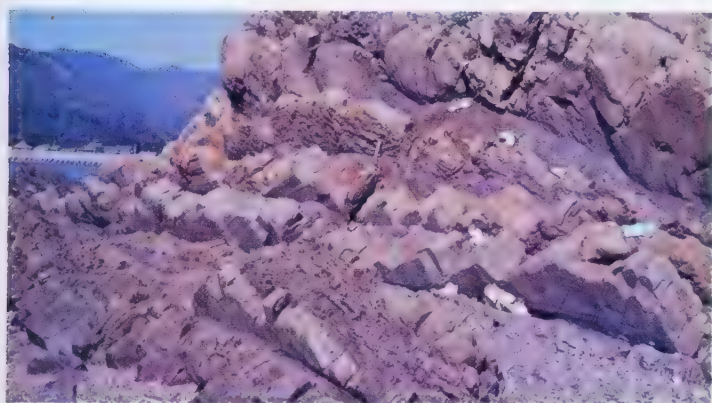
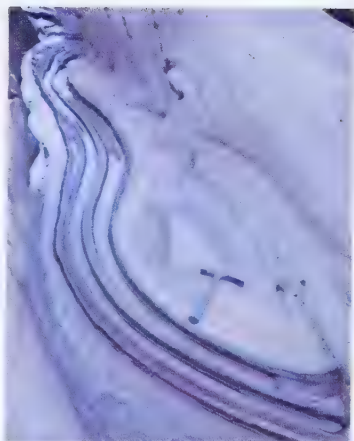
◀げんのう石　地層の中で、おもに石灰分が集まってできたもの

地層がたい積するときのようす

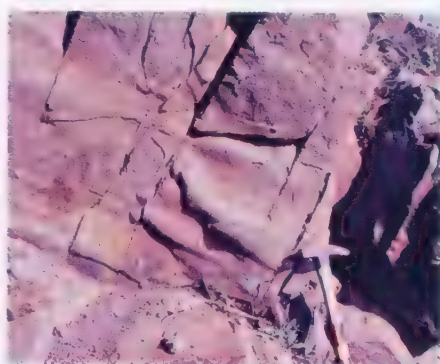
和歌山県白浜海岸に見られる，細かい砂とどろからできている美しい地層。ただ砂とどろの層の重なりあったしま模様ということではなくて，よく見ると，運ばれてきたときの流れのようすを残したいろいろのたい積模様があります。

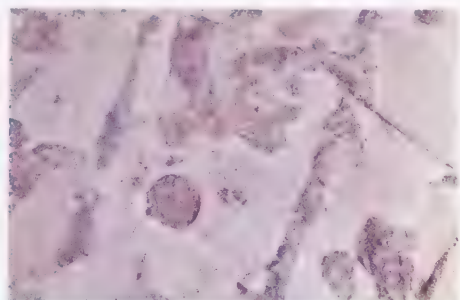
これらのしま模様から，大むかしに，その地層ができるときの流れのようすや，いろいろなできごとなどを考えてみることにしましょう。

▲**クロスラミナ**　石ころまじりの砂つぶが，ななめのしま模様をつくっているが，これは層理ではなくて，つぶの配列のようすを示すもの。地層は，全体としては，ほぼ平らな層になっている。水の動きの方向が，はげしく変わるたびに，このようなたい積模様をつくる。

▲**生き残りの層**　石ころや砂が運ばれてきて，それを運んだ流れの力が変わり，またそれを先の方に運び去ったりしながら，このようなくさび状やレンズ状の模様ができる。地層の中には，このような，流れの力にたえた生き残りの記録が残されているといえる。

▲**サ岩とデイ岩が細かく重なりあった地層**　この層には，雪だるまのような模様や，引きちぎりの構造などが見られる。

▲**雪だるまのような模様**　たい積した地層が水中で地すべりをおこし，まだじゅうぶんかたまりきらないうちにできた。

▲**引きちぎり構造**　水中で地すべりをおこし，地層のある部分が引きちぎられてしまったもの。

▲**うずまき模様**　うずをまきながらたい積した地層の模様。その上半分がけずりとられ，続いてその上に平らな地層が重なっているので，地層がかたまったあとのしゅう曲ではない。

▲**曲がりくねった模様**　まるでロールカステラのように，砂やどろの層がすべってできた地層の構造。

▶**高知県竜串海岸の地層のたい積構造**　水中で地すべりしてできたスランプ構造といわれるもの。波がしん食した海食台にあるので，その構造の内部まで見えるようになっている。構造の種類によって，大竹，小竹などと，いろいろおもしろい名まえがつけられている。

▲**底こん（加重こん）**　サ岩の重みで，まだやわらかいデイ岩をおしつぶしたもの。

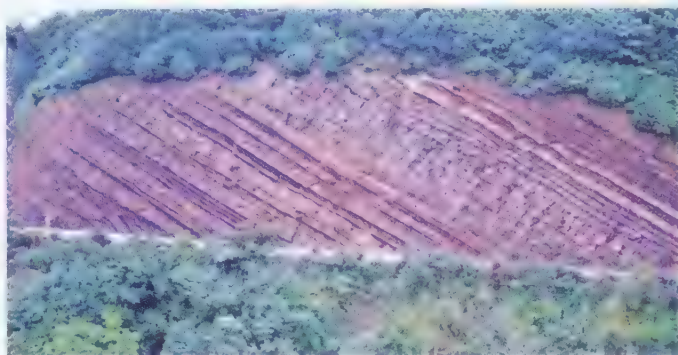
▲**底こんのある地層**　サ岩，デイ岩の層がいくつもくり返し重なりあったかたむいた地層。デイ岩の部分はくずれやすいので，サ岩の部分が残ってつき出た。その下の面にはいろいろな模様が見える。これは，サ岩がたい積するときのたい積模様（たい積構造）で，地層の足あとのようなものといえる。

◀**底こん**　サ岩の下の面には，それがたい積するときに，砂をふくんだ流れがうずをまいて，その下のデイ岩をけずったり，何かを引きずっていったあとを残している。

▲**底こん（流こん）**　水中で，砂やどろが流れたときのあと。

▼**れんこん**　底こんとは反対に，地層の上盤側に，波や水の動きのためにできたもので，波や水の足あとともいえる。

▲**生こん**　地層の中に，その当時の生物の足あとや，食い歩いたあと，住みあとなどが残ったもの。

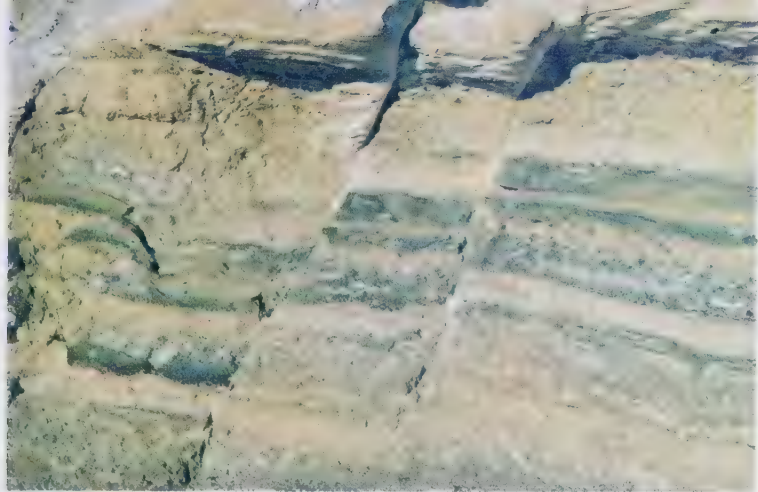
地層のいろいろなようす

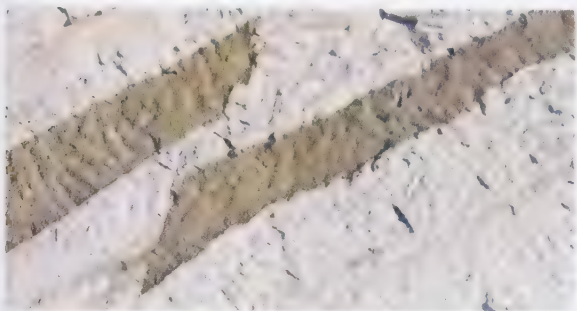
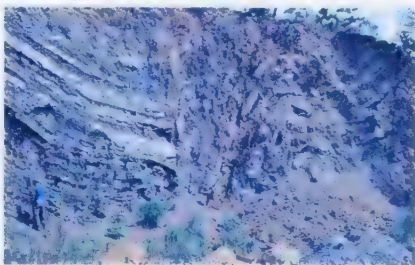
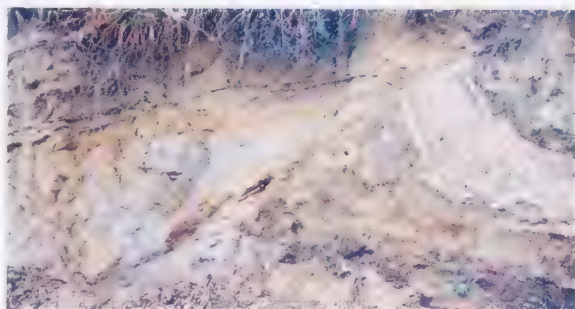
底こん，れんこんなどの，地層ができるときのできごとや，スランプ構造など，地層がかたまりきらないとちゅうのできごとを見てきました（118ページ）。それとはちがって，地層には，でき上がったあとで，地殻変動のためにいろいろな変形をすることがあります。ここでは，そのような地層の構造を観察してみましょう。

▲**水平な地層**　砂，どろ，れきなどの層が，ほとんど平らに重なり合っていて，あまり地殻変動をうけていない新しい地層の露頭

▲**かたむいた地層**　道路ぞいの切り通しで，サ岩，デイ岩の層のくり返しからなる地層

▲**直立したり逆転しかかっていたりする地層**　逆転した場合でも，地層の中の砂つぶなどの大きさや底こんなどから，その上下がわかる。この露頭では，右側が地層の上盤側になる

▲**かたむいた地層**　宮崎県青島の“鬼の洗たく板”とよばれる地層　波のはたらきでしん食された地層が，海食台の面であらわれている　デイ岩の部分が，かたいサ岩の部分よりも早くしん食されて，このようなすがたになった

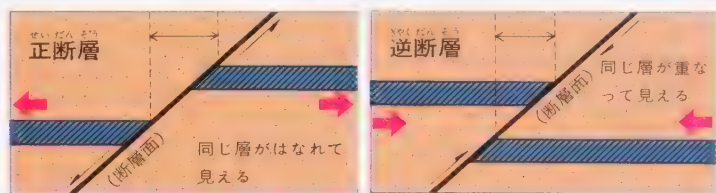
◀**しゅう曲した地層**　サ岩，デイ岩の層が細かく重なり合って，層理が発達している地層が，ひどくしゅう曲したもの

◀正断層　地層が階段状に切れて落ちている。

▼しゅう曲と断層　しゅう曲と断層がともなっている露頭で，断層にそって地層がこわされ，断層角れきの部分ができている。

▲逆断層　左側の地層が切れて，右側の地層の上にのし上がったもの。

▲逆断層　地層がしゅう曲をともないながら，ついに切れて逆断層になったもの。

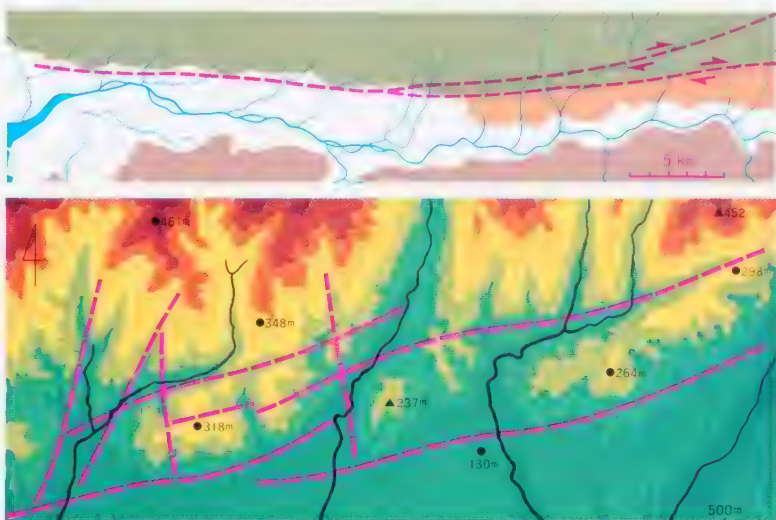
●断層

地層に力がはたらいて，地層にさけ目ができ，さけ目を境にして，地層が上下方向や水平方向にずれることがあります。これを断層といいます。断層には，地層のずれ方のちがいによって，正断層，逆断層，横ずれ断層などがあります。

正断層と逆断層

両側からおす力がはたらいた部分では，逆断層になり，引っぱりの力がはたらいた部分では，正断層になります。

横ずれ断層

断層は，垂直方向にずれるだけでなく，断層を境にして，その両側が右か左の方に横ずれすることもあります。

川の流れを観察した紀ノ川（98～99ページ）ぞいの中央構造線は，その例です。右の図は，その断層と考えられる線を地形図の上に書き入れたものです。川の流れが，断層のところで右の方に大きくずれて曲っているようすから，右横ずれの断層と考えられます。

火成岩をつくりのようすで分けてみよう

火成岩には、いろいろなものがありますが、そのそれぞれに名まえがつけられていないと、何となく不安な気がするものです。

さらに、その名まえを知らないと分類ができないとか、親しみにくいとか思ってしまいがちになるものです。しかし、岩石に親しむということはそのようなことではありません。たしかに、岩石の名まえは決してでたらめにつけられているわけではありませんし、それなりにある決まった基準があって、いろいろな分類のしかたや、考え方もあるわけですが、そのようなことを知らなくても、岩石に親しみ、知識を深めていく方法がいくらでもあるはずです。

火成岩というと、まずアンザン岩やカコウ岩がひきあいに出されますが、それはこの2つの岩石から、それぞれのでき方のちがいを学びとる手だてにすぎないのに、ただアンザン岩やカコウ岩そのものだけを学ぶことで終わってしまいがちです。

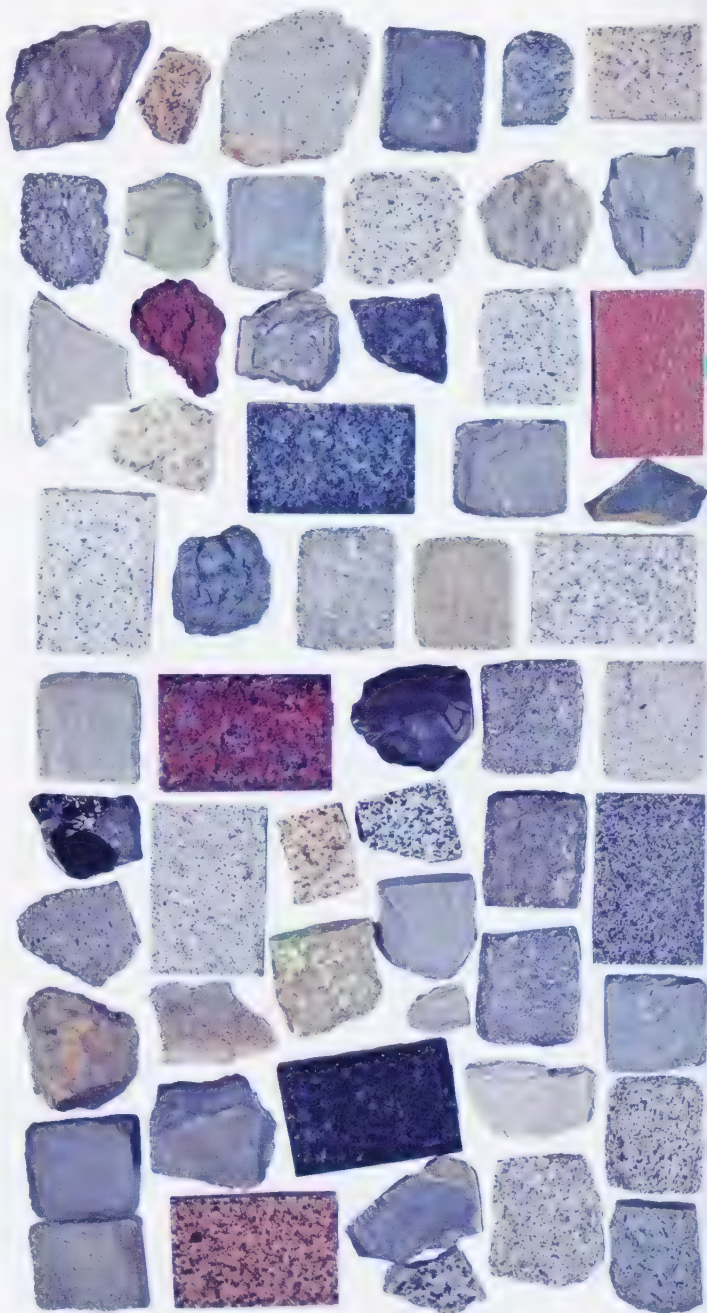
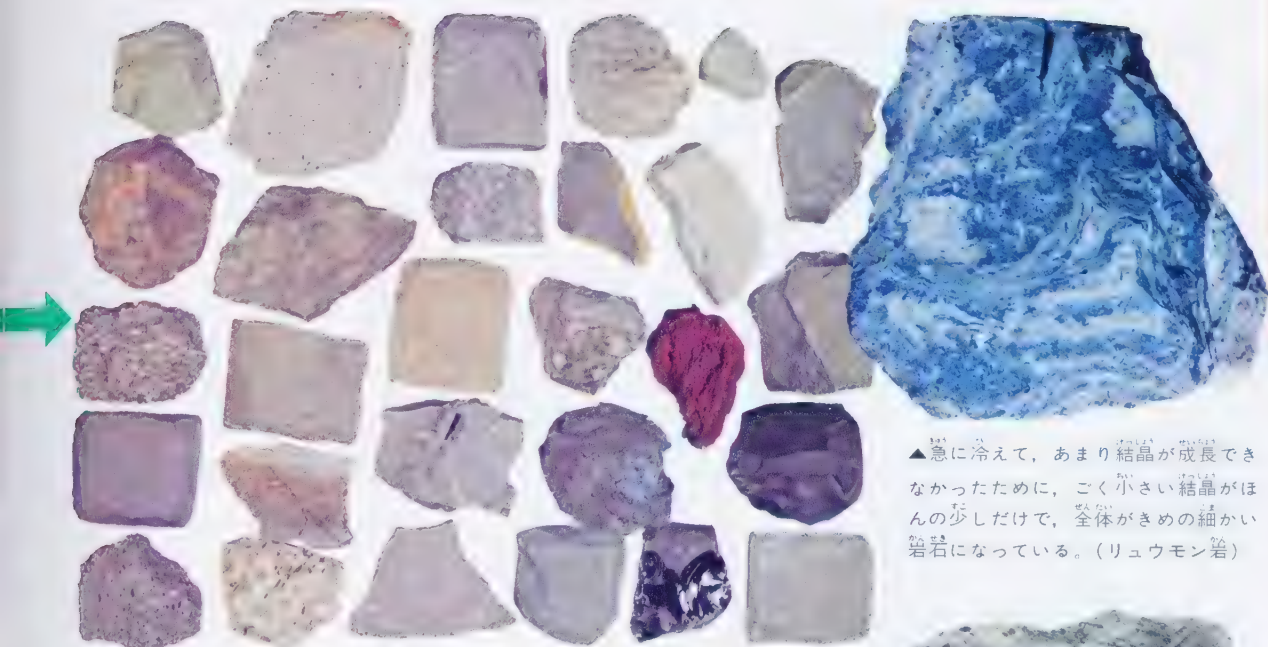
岩石のでき方のちがいを調べるには、いろいろな方法がありますが、最も基本的には、岩石ができたときに、マグマが急に冷えてできたものか、ゆっくり冷えてできたものかのちがいを知ることがいちばんたいせつなことです。その冷え方のちがいを、わたしたちの目で見て、なっとくのできるように区別してみましょう。

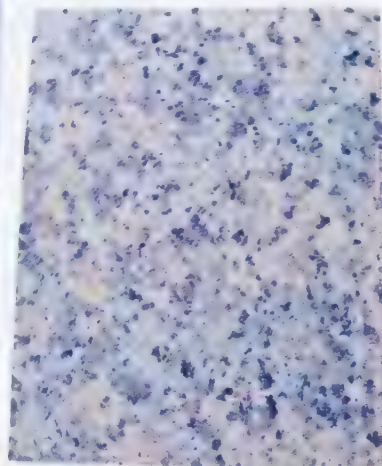
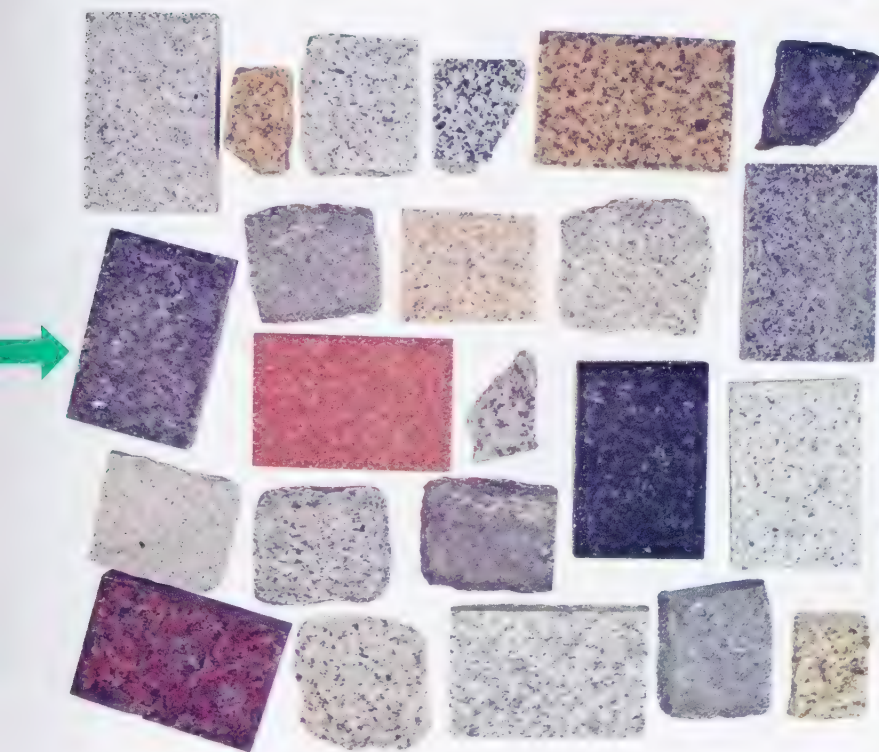
そのためには、つぶの大きさや色や外見にまどわされずに、まず、その岩石の、つくり（組織）を自分の目でたしかめてみることです。

そして、つくりのにたものどうしを集めていって、共通した特徴でとりまとめていけるようにしたいものです。

このことは火成岩にかぎらず、川原の石ころのところでも、同じようなやり方を進めてきましたし、物の見方の基本となることでもあります。名まえはその上で教えてもらうか、それなりの調べ方をすればよいわけで、しばらくあせらずに、すなおな岩石遊びをしてみましょう。

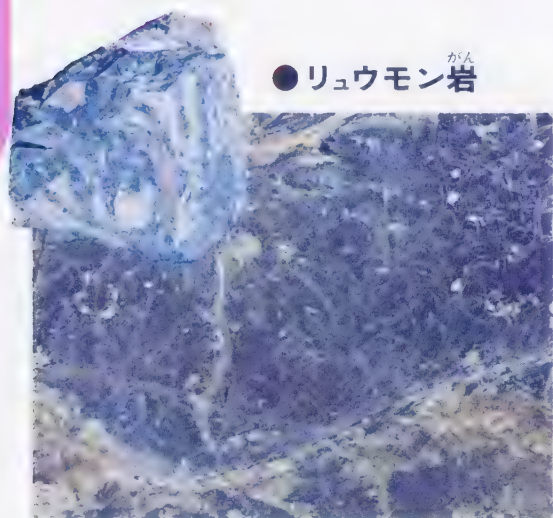
●火成岩のなかま分け

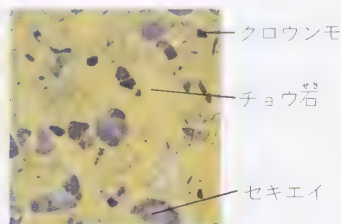
下にならんでいる岩石は、どれも火成岩です。その中には、急に冷えた火山岩、ゆっくり冷えた深成岩、その中間の半深成岩というあつかい方でとり上げられる岩石が入りまじっています。これらの岩石を、それぞれ3つのなかまに分けてみました。分けたなかまをくらべてみると色やつぶの大きさということだけでなく、何か共通した特徴が大ざっぱに区別されているように見えます。さらにそれぞれのなかまから、1つずつとり出して、その特徴をくらべてみることにしましょう。

▲急に冷えて，あまり結晶が成長できなかったために，ごく小さい結晶がほんの少しだけで，全体がきめの細かい岩石になっている。(リュウモン岩)

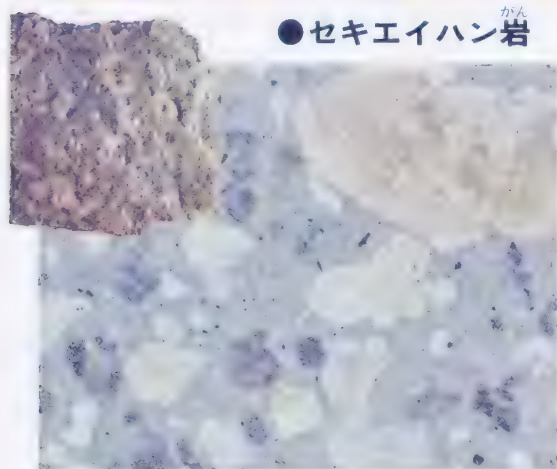
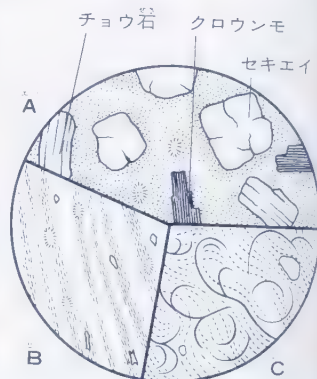
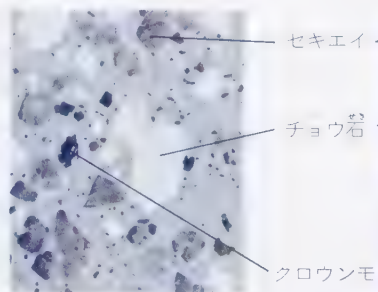
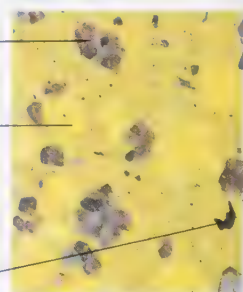
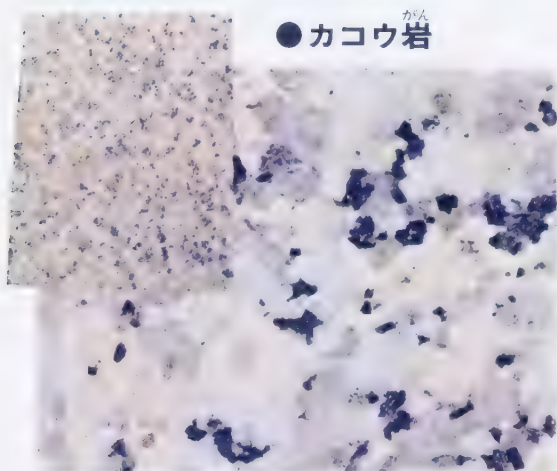
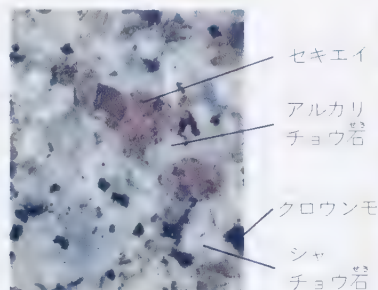
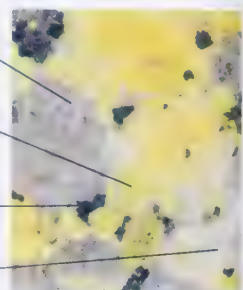
▲大きく成長した結晶がちらばってはいっている。基地の部分は，細かい結晶でできているが，肉眼ではよくわからない。(セキエイハン岩)

▲ゆっくり冷えたため，全部結晶の集まりになって，それらがかみあっていることがわかる岩石．(カコウ岩)

火成岩のつくりのちがいを区別する

前のページで，リュウモン岩，セキエイハン岩，カコウ岩の３つをとり出しました。この３つの岩石は，ふつうの場合，同じ種類の鉱物がふくまれているのに，そのつくりは，それぞれちがっています。

カコウ岩には，セキエイ，チョウ石，クロウンモがおもな鉱物としてふくまれています。セキエイハン岩にも，

●リュウモン岩

染色したもの

▲急冷したため，結晶が少なく見えにくい岩石なので，写真はややおおい結晶の多いリュウモン岩をえらんで染色したもの。たとえば，すいた電車に親子連れが乗った状態のつくりになっている(斑状構造)。

いろいろなリュウモン岩にふくまれる鉱物

●セキエイハン岩

みがいたもの　染色したもの

▲結晶のようすは，はっきりとした外形をもっていて，たとえば，電車に大人と子どもが乗り，ひととおり満席になった状態のつくりになっている(斑状構造)。

●カコウ岩

みがいたもの　染色したもの

▲灰色をしたセキエイは不定形で，リュウモン岩やセキエイハン岩のものとはまったく形がちがう。完晶質で，たとえば，満員電車でおたがいにからみあっている状態のつくりになっている。

同じ3種類の結晶がはいっていますが，カコウ岩とはちがって，風化してぼろぼろになった岩石からは，セキエイやチョウ石の結晶だけを取り出すことができます。

カコウ岩は，ゆっくり冷える間に全部が結晶でうずめつくされたので(完晶質という)，自分の結晶の形をもてなかったものです(他形という)。セキエイハン岩は，やや大きめの結晶がばらついているので，はん点状のつくり(斑状構造)になっていますが，これは，先にできた大きい結晶(斑晶という)のあとから，やや急いで結晶した細かい結晶がその間をうずめたものです。リュウモン岩も，自分の形をもった結晶（自形という）がばらついていて，斑状のつくりをしています。

A…斑状構造がよくわかるリュウモン岩

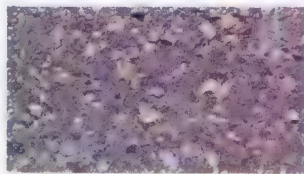
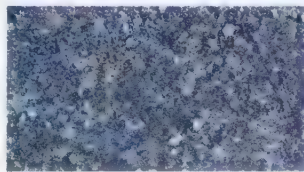
セキエイ，チョウ石，クロウンモなどが，地下のマグマだまりで結晶したので，自分の形(自形)をしている。それが急に地表にまで上がってきたため，まわりの基地(石基)の部分(電車の中のすき間にあたる)は，結晶質でなく，ガラス質になっている。

B…コクヨウ石

Aと同じリュウモン岩の化学組成をもっているものが，とくに急冷してガラス質になったもの。わずかに結晶になりかけの細かいつぶがあり，流れ模様も見える。

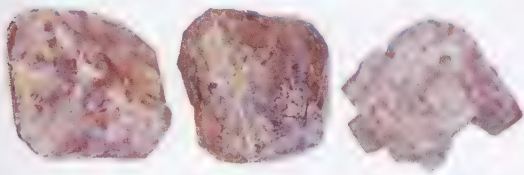
C…シンジュ岩

リュウモン岩と同じマグマが，とくに急冷してガラス質になったもので，から草模様の割れ目ができている。

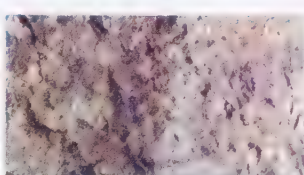
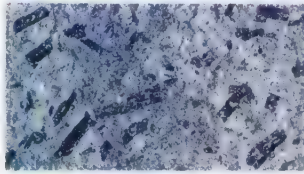
同じつくりの岩石

▲丹波石とよばれるリュウモン岩

▲鉄平石とよばれるアンザン岩

同じつくりの模様

▲細かい基地(ガラス質の石基)に，まばらな模様(斑晶)があるものや，無地(ガラス質)のもの。

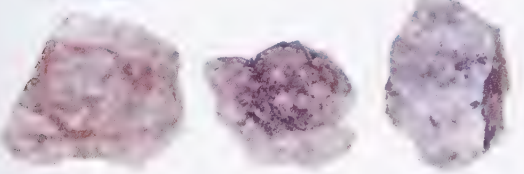
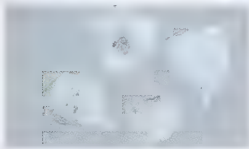
ふくまれる鉱物

▲**セキエイ**　カコウ岩のセキエイとちがって，高温でできたもの。そろばん玉の形をした自形の斑晶。

▲**チョウ石**　自形をしている斑晶。

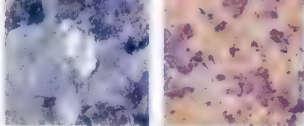
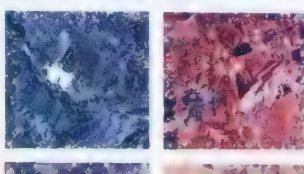
同じつくりの岩石

▲**セキエイハン岩**

▲**カクセンヒン岩**

同じつくりの模様

▲やや細かい基地（結晶質の石基)に，まばらにちらし模様(斑晶）があるもの。

ふくまれる鉱物

▲**セキエイ**　ゆっくり冷えて，間をうずめるような形で不定形(他形)になった低温型のもの。

▲**チョウ石**　他形の結晶。

▲**クロウンモ**　セキエイやチョウ石よりは，少しは形の整っている結晶。

同じつくりをもつ岩石

▲どれも石材として切り出されている同じつくりの岩石で，結晶がぎっしりかみあっている完晶質のもの。

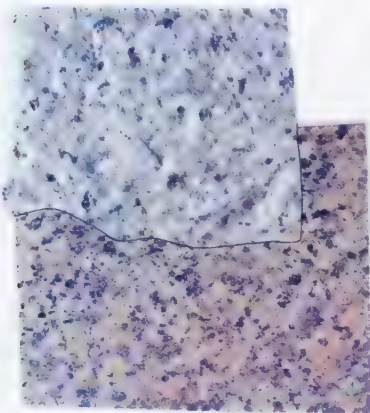
同じつくりの模様

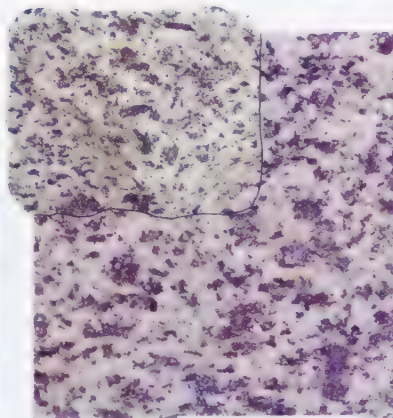
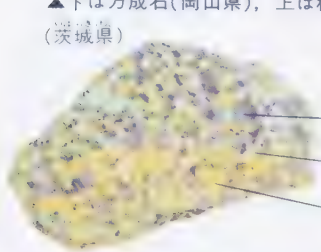
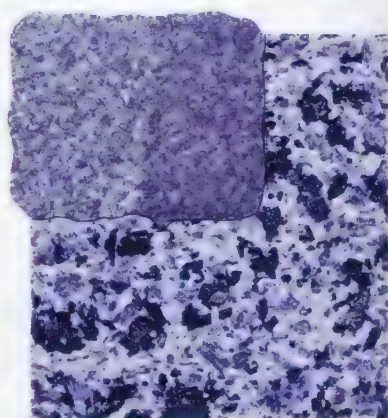
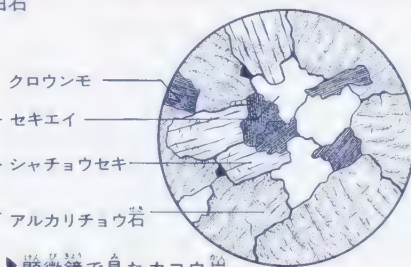
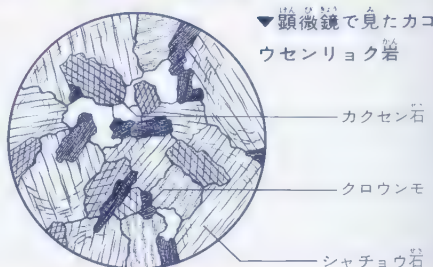
▲総模様で全部結晶でうずまっているもの(完晶質)。

深成岩とその中にふくまれる鉱物

マグマが地下でゆっくり冷える間に，全部が結晶のかみあった完晶質の岩石になったものが深成岩です。

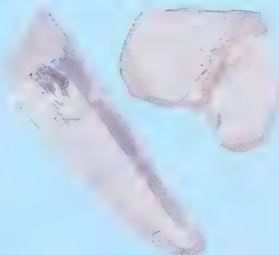
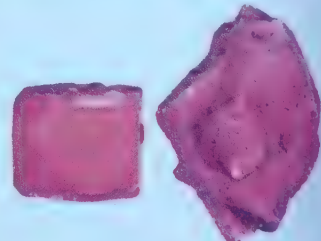
深成岩のなかまはたくさんあり，図鑑などには，ある分類の基準にしたがって順にのっていますが，かんたんにするために，白っぽいものから黒っぽいものへとなら

●カコウ岩

▲下は万成石(岡山県)，上は稲田石(茨城県)

●カコウセンリョク岩

●セキエイセンリョク岩

▲染色したカコウ岩

▶顕微鏡で見たカコウ岩

▼顕微鏡で見たカコウセンリョク岩

●岩石をつくるおもな鉱物

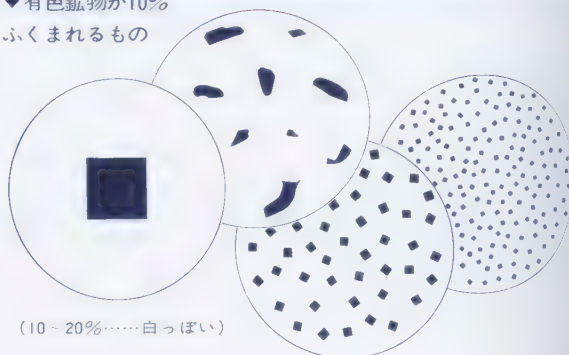
ここでは，自形をした結晶を示したが，実際の深成岩の中では，他形としてはいっています。

▼白っぽい鉱物　ケイ酸分とかアルミニウムを多くふくむ鉱物(無色鉱物あるいはケイチョウ質鉱物)

▲セキエイ

▲チョウ石

▲シャチョウ石

●色指数

岩石のみがいてうすくしたものを，ごばん目のあるスクリーンに投影し，有色鉱物がごばん目にふれる回数を読みとります。全体のあみ目の数との割合から，目で見た岩石の色にまどわされずに，白っぽい岩石から黒っぽい岩石へと区別することができます。(外見だけで区別することのないように，この色指数を使います。)

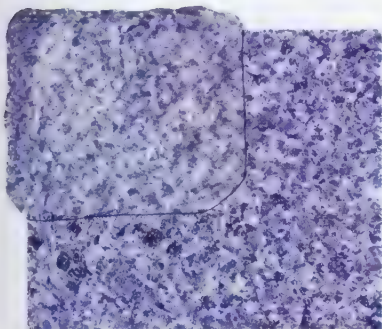
▼有色鉱物が10%ふくまれるもの

(10～20%……白っぽい)

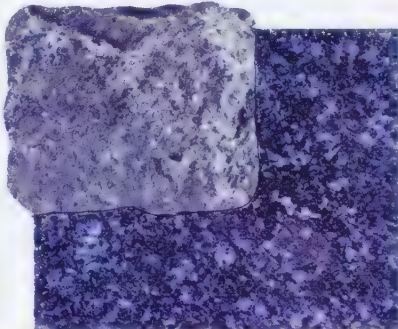
べて示されていることが多いようです。

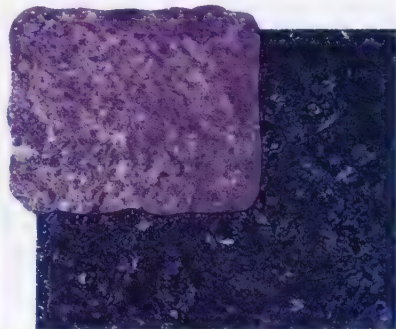
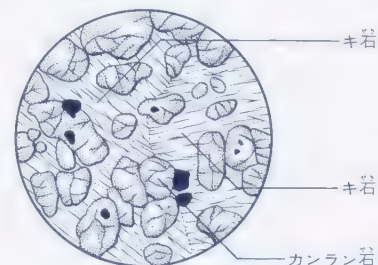
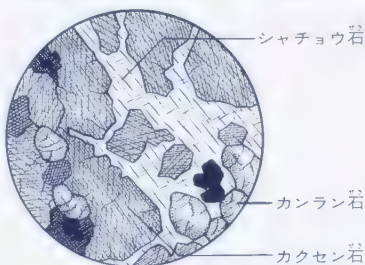
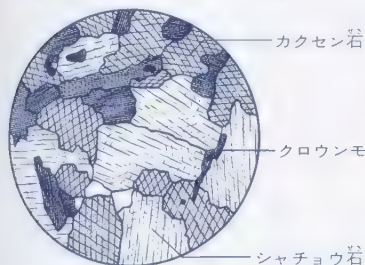
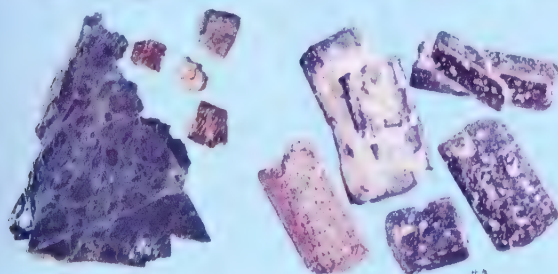
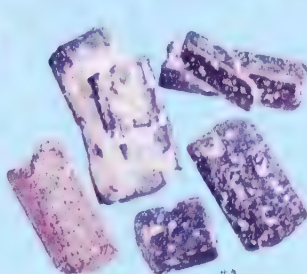
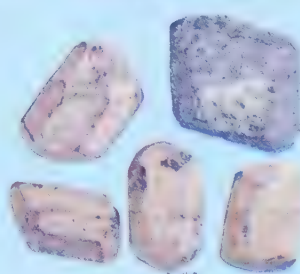
この色は，外見上の色のことではなく，白っぽい鉱物や黒っぽい鉱物が，どんな組み合わせで，またどんな割合でふくまれているかを基準にしたものです。

ふつうの火成岩をつくっているおもな鉱物は，下にあげた数種類です。

ここでは，なるべく代表的な深成岩を取り上げてみることにしましょう。そうすれば，かりにその名まえがわからなくても，いろいろある岩石を分けていく手だてだけでも知ることになります。

●センリョク岩

▼顕微鏡で見たセンリョク岩
白っぽい鉱物にくらべて，黒っぽい鉱物が多くふくまれるようになる。

●ハンレイ岩

▼顕微鏡で見たハンレイ岩
さらに黒っぽい鉱物が多くなり，セキエイはほとんどふくまれなくなる。

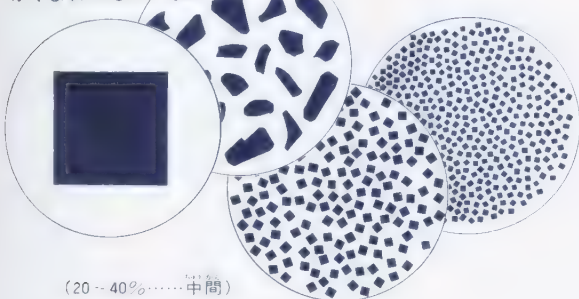
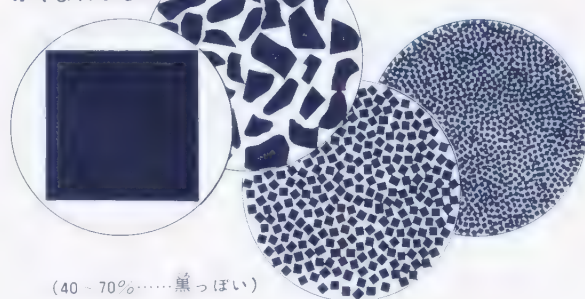
●カンラン岩

▼顕微鏡で見たカンラン岩
カンラン石やキ石などの黒っぽい鉱物ばかりの集まりになる。

▼黒っぽい鉱物　鉄やマグネシウムを多くふくむ鉱物(有色鉱物あるいは苦鉄質鉱物)

▲ウンモ

▲カクセン石

▲キ石

▲カンラン石

▼有色鉱物が35%ふくまれるもの

(20～40%……中間)

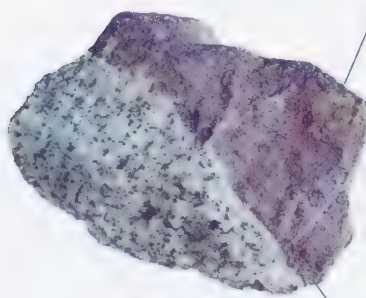
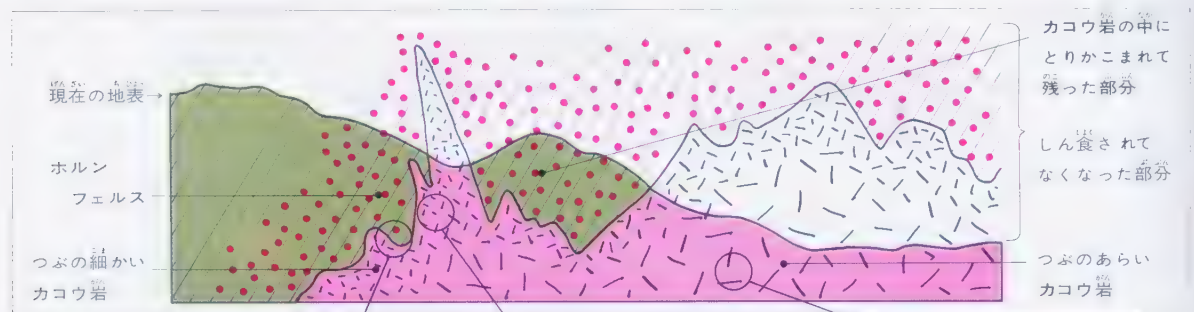
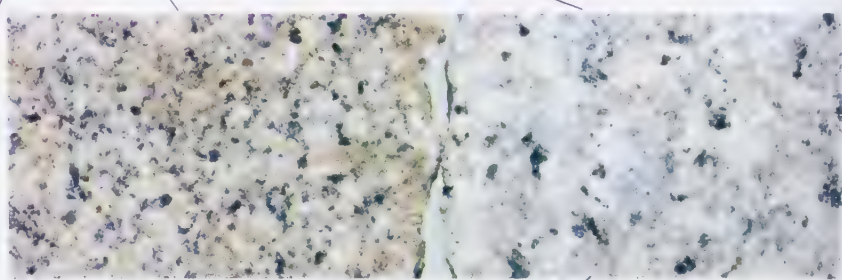
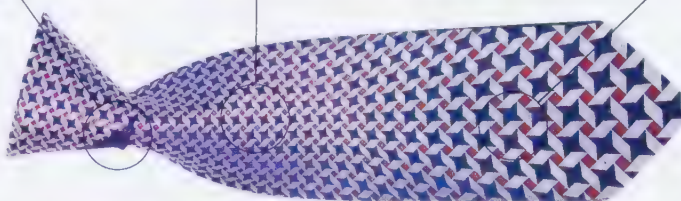
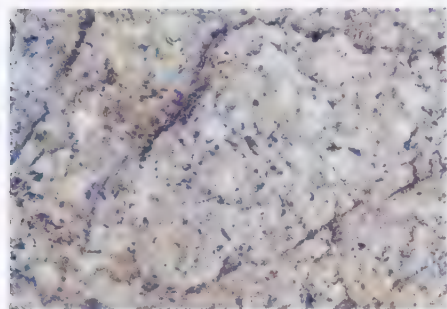
▼有色鉱物が60%ふくまれるもの

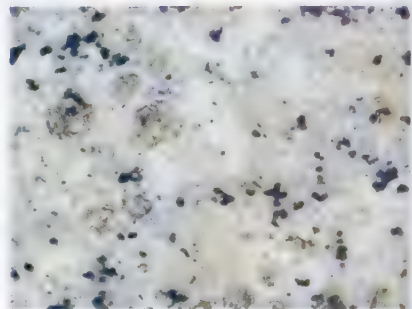
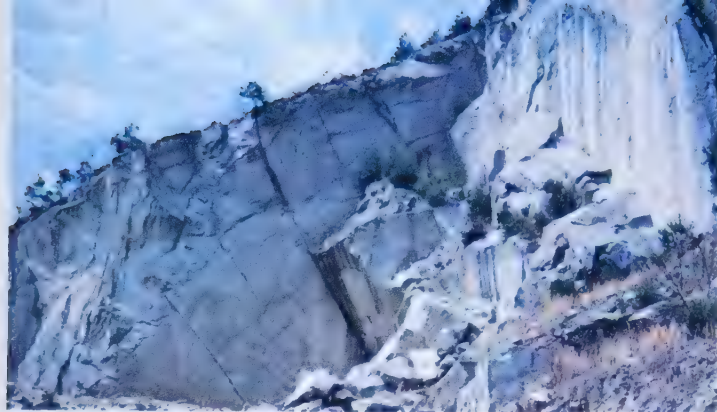
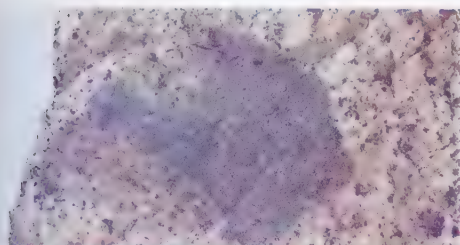
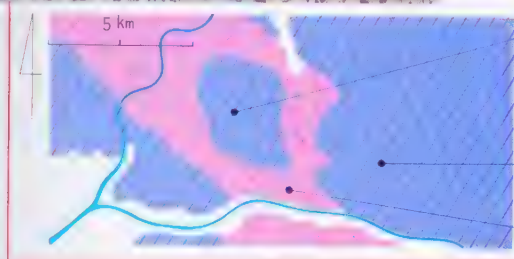
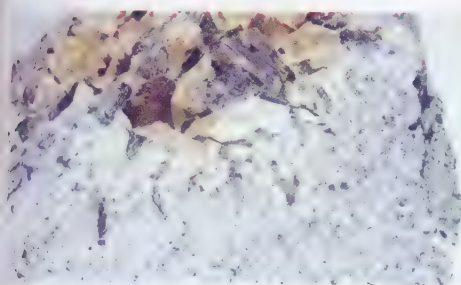
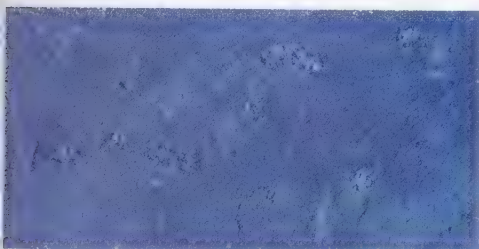
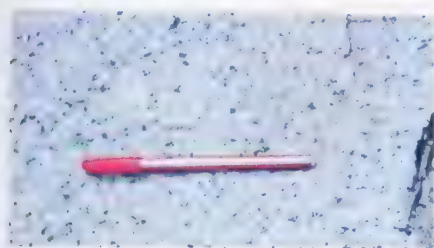
(40～70%……黒っぽい)

カコウ岩のいろいろなすがた

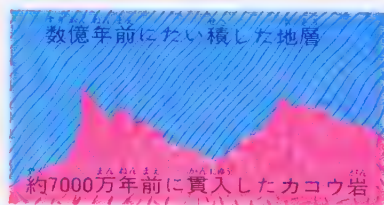
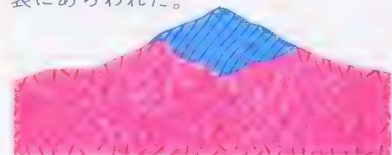
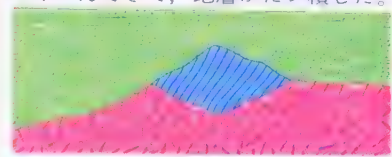
深成岩にはいろいろありますが，そのつくりは，どれもゆっくり冷えたことを示す(完晶質)岩石であることを見てきました。その代表に，カコウ岩がよくえらばれますが，それは，どこにもふつうに見られ，またかなり大きい岩体としても見られるためでしょう。

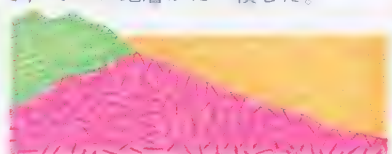
ところが，このカコウ岩にしても，地下でマグマとしてとけていたときのようすや，それがまわりの岩石の中にはいりこんで冷えかたまるまでのようすを，実際に見た人はだれもいません。とけていたときの温度は800℃前後といわれ，1つのカコウ岩体が冷えきるまでには，数万年，10数万年，あるいは100万年もの長い時間がかかるともいわれています。

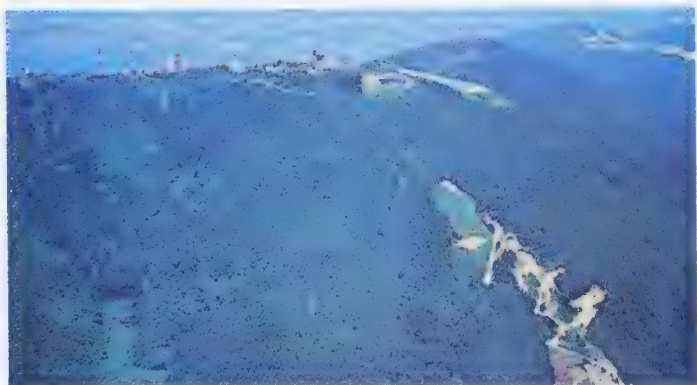
そのようにして冷えきったものを，現在わたしたちが見られるのは，地殻変動でさまざまな変化をうけ，ついに地表にまで顔を出すようになったからです。地下にできたカコウ岩が，地表にあらわれるまでの変化を，モデル的にあらわしたのが，129ページの図です。

このようにして地上にあらわれたカコウ岩を，ここでは，カコウ岩とそのまわりの岩石とを合わせて，野外のいろいろなできごとをとおして，見ることにしましょう。

▲カコウ岩の接触部　カコウ岩ができるときに，それより前からあったまわりの岩石にはいりこんだもの。もとの地層のたい積模様があると，そのしま模様を切ってわりこんだようすがわかる。

▲結晶のつぶの細かいカコウ岩(左)とあらいカコウ岩(右)　同じカコウ岩体でも，中の方はゆっくり冷えたために結晶はあらいが，外側は少し速めに冷えたため，結晶が細かくなっている。

▲ネクタイの模様　1つのカコウ岩体の結晶の大きさの変化を，デザインしたようなもの。

◀斑状の構造に見えるカコウ岩　カコウ岩がはいりこんだ枝のような部分では，ときには，このような斑状構造に見えることがある。しかし，やはり完晶質で，リュウモン岩やアンザン岩の斑状構造とはちがう。みがいたものでみると，完晶質になっていることがわかる。

みがいたカコウ岩▶

▲カコウ岩の露頭

◀ゼノリス　まわりの岩石のかけらをとりこんだものをゼノリスという。ゼノリスには，かなり大きなものがあって，しん食された現在では，カコウ岩の中に浮かんでいるようになっていることがよくある。

◀ペグマタイト　液体から結晶していって，最後の残り汁のようなもの（ペグマタイト）が，岩脈状にはいりこんだところ。セキエイ，チョウ石のほか，ウンモ，デンキ石，ザクロ石などや，放射性鉱物などのいろいろな鉱物をともなうことが多い。

◀ホルンフェルス　カコウ岩などがゆっくり冷えるためには，そのまわりに，保温器に相当する岩石があって，それが熱いものに接したために，やけどをする。つまり，熱変成して結晶質になる。これをホルンフェルスという。

◀流れ模様のあるカコウ岩　カコウ岩は，もとは液状であったことを示している模様（流理）と思われるようすが見られる。

●あるカコウ岩体が地表にあらわれるまで

隆起・しん食　カコウ岩がはじめて地表にあらわれた。

沈降・たい積　約2000万年前に海がはいりこんできて，地層がたい積した。

隆起・しん食　カコウ岩がまた地表にあらわれた。

沈降・たい積　約 200万年前に湖ができ，そこに地層がたい積した。

隆起・しん食　約50万年ほど前から，カコウ岩が，あらためて地表に顔を出しはじめた。

生駒山地ができるまで ―目で見る地殻変動―

カコウ岩が，現在の地表にあらわれるようになるまでには，ずいぶんといろいろなできごと（地殻変動）をうけてきたことを，前のページで見てきました。

しかし，カコウ岩が地表にあらわれて，山をつくるようになるまでのいきさつを，モデル図だけでおしまいにしないで，やはり自分たちの目でたしかめてみることにしましょう。

●生駒山地の地質のあらまし

生駒山を西側（大阪側）からながめると，ひじょうに急な斜面が壁のようになっていて，それが南北の方向に連なっています。ところが東側（奈良側）からは，いく重にもならんだ低い丘と山をへだてて，はるか遠くに生駒山の山なみが見えます。

東西方向の断面にしてみると，西側が急で東側がゆるやかになっているのがわかります。

地質図の赤い色の部分が，カコウ岩のあらわれているところです。生駒山頂のあたりなどには，古い火成岩（ハンレイ岩）が，カコウ岩にだきこまれていて，ちょうど129ページで示したホルンフェルスのゼノリスのようになっています。それは根なし岩体として，カコウ岩の中に浮いているのです。

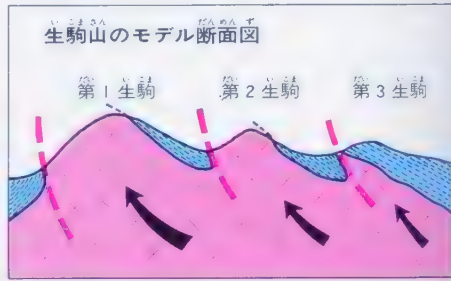
カコウ岩は，西から東へと3回地表にあらわれており，そのどれもが西側が急で，東側がゆるやかな斜面になっています。

地図の水色の部分は，れき，砂，どろなどが重なり合ったやわらかくて新しい地層です。

新しい地層は，200万年から30万年くらい前までの間にたい積したものといわれていますが，山地の部分のカコウ岩は，数千万年前のものといわれています。

2 km
河内峠
天野川
清滝峠
近鉄奈良線
642 ▲生駒山
暗峠
十三峠
竜田川
488 ▲信貴山

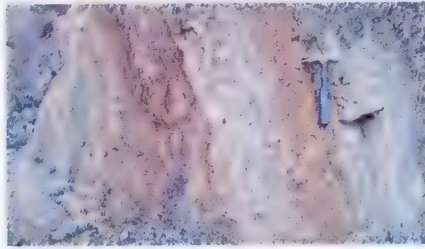
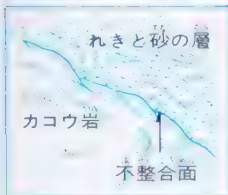
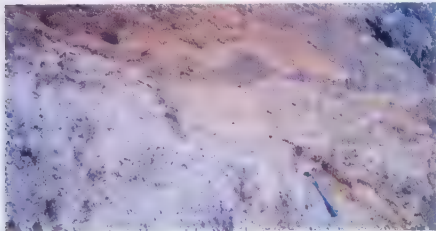
れき，砂，どろなどからなる地層
カコウ岩類
生駒山のハンレイ岩とその他の火成岩
信貴山の火山岩類
断層

生駒山のモデル断面図

●生駒山地のなりたち（清滝峠星田付近の露頭のようす）

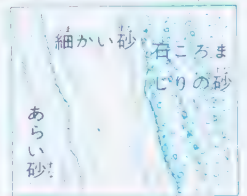
生駒山地は，はじめはそれほど高い山地ではなくて，カコウ岩の上に新しい地層が，ほとんど一面にふとんをかぶせたようになっていました。それが，南北の方向にいくすじかの高まりができ，その高い所が，しん食でけずりとられてなくなってしまったのです。そのようすを，清滝峠や星田付近の露頭でたしかめてみましょう。

A地点

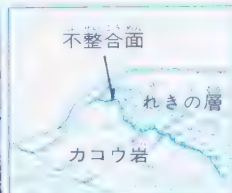
▼カコウ岩がかなり風化して，ぼろぼろになっている。ハンマーでけずると，セキエイやチョウ石がたやすくほぐれる。このカコウ岩の上に，れきや砂の層がのっている。

れきと砂の層
カコウ岩
不整合面

◀左の切り通しの続きの地層が，ここではひどくかたむいて，ほとんど直立しかかっている。向かって左側が，もとの地層の下盤側であることが，たい積のようすや，石ころや砂つぶの大きさの変化からわかる

▼つぶのあらい層と，細かい層とをくりかえしている露頭。

細かい砂
石ころまじりの砂
あらい砂

天野川
きさいち
星田
ゴルフ場
清滝峠
A
B
C
D
E

E地点

▼不整合を示す切り通しで，カコウ岩の上に，れきや砂の地層がのっている。

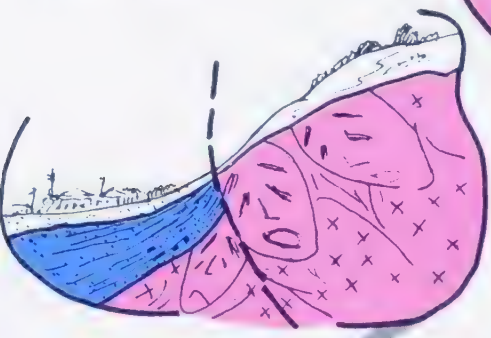
後ろに見える山なみは，天野川をへだてて，もう１つ東側のカコウ岩の尾根すじになる。

▼E地点からさらに東の山地にはいると，またカコウ岩があらわれ，その上に同じ新しい地層の続きがのっていて，丘になっている。切り通しでは，ほとんど平らな地層になっているのがわかる。

●ものいわぬ石との話し合い(生駒山地の露頭のいろいろなすがたから)

カコウ岩の上には，もとは同じ地層がかぶさっていたのが，しゅう曲によってもり上がりながら，東(右)の方から西(左)の方へより強くおし上げられ，そのため，西側の急斜面は，逆断層になって新しい地層の上にのし上がらんばかりになっています。尾根すじでは，やわらかい地層のふとんが，はぎとられてしまっているが，西斜面の低い丘の部分では，しん食から生き残ったふとんが，まだカコウ岩の上にかぶさっています。

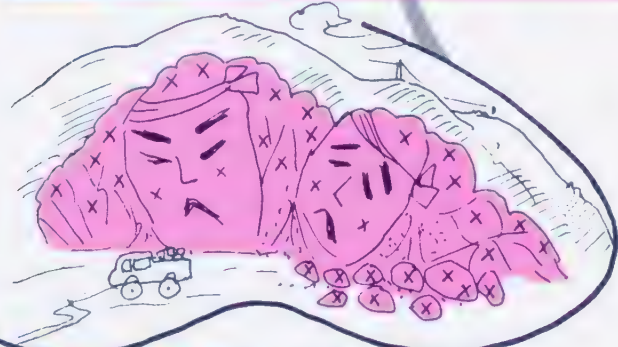
やはり，はじめから生駒山があったのではなくて，やわらかい地層のふとんをかぶったまま，この数十万年の間に，このような山になったことが，実際に目で見てたしかめられたわけです。

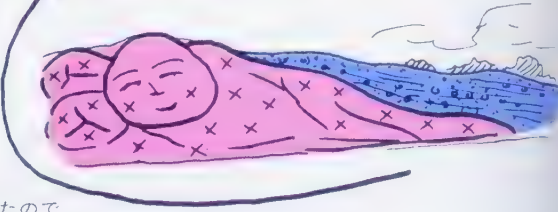
●A地点の逆断層

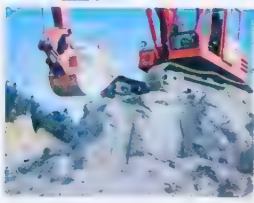
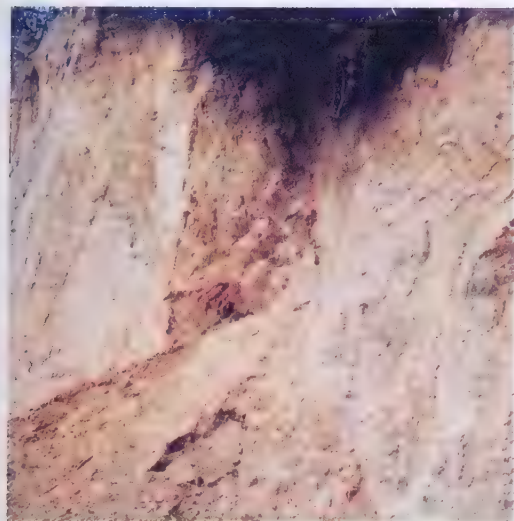
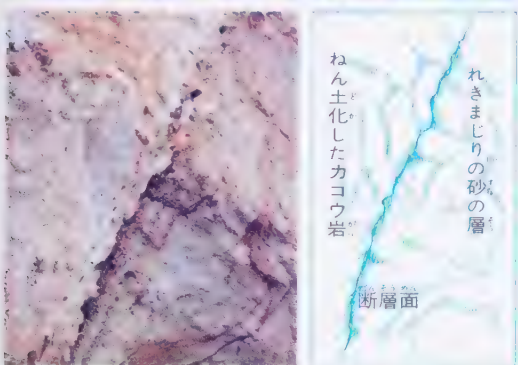
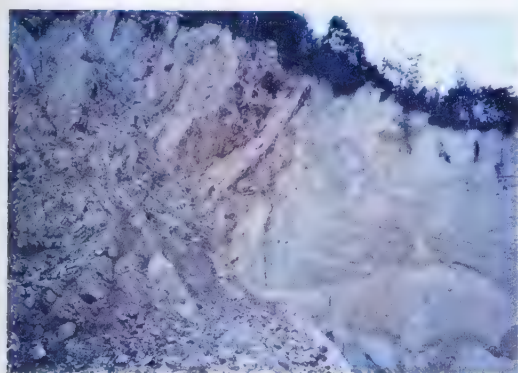
奈良県側から大阪側へと，しゅう曲しながらおされて，やわらかい地層のふとんをひきずり上げながら，ついに，その上にまでのし上がってしまった

●C地点のカコウ岩

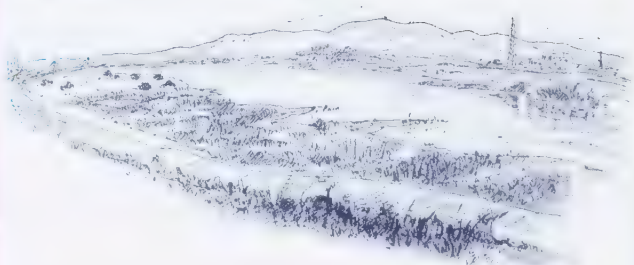
ブルドーザーで頭をまるぼうずにけずられ，おまけにしばふのかつらまでかぶせられて，ゴルフ場にされてしまった

●D地点のカコウ岩

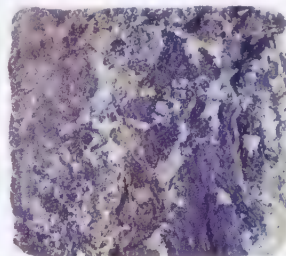
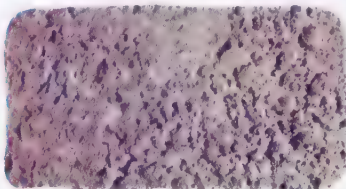
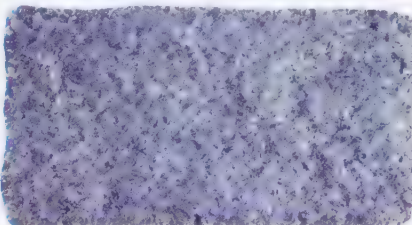
風化して砂のようになった部分は洗い流され，まだ風化していないカコウ岩のかたい部分が頭を出して，広びろとした墓地を見まもっている

●E地点の不整合

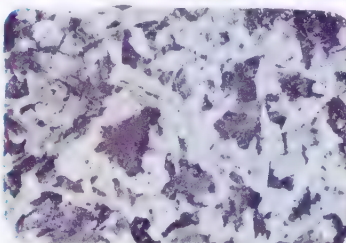
なだらかな斜面では，カコウ岩の上に新しいやわらかい地層がかぶさっているので，「ふとん着て 寝たるすがたや 生駒山」とでもいった風景になっている

●B地点のカコウ岩

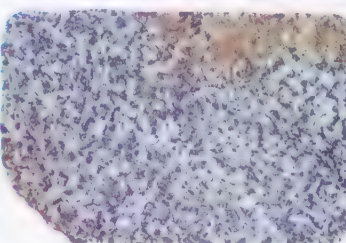
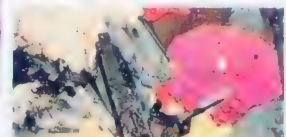
数十万年ぶりにふたたび地表にあらわれたので，ひなたぼっこでもしようとしたら，風化して砂のようになった所は，宅地造成用の砂取場にされ，風化しないで残ったまるみのある大きな玉石は，石材として運び出されてしまうことになった。

▲**断層ねん土が見られる露頭**　生駒山のカコウ岩の岩体の中には，断層がよく見られて，何度もゆさぶられたようすがわかる。また，断層ねん土ができていたりする

▲**河地峠の逆断層**　130ページの地質図の北東にある河内峠には，断層が見られる。右側の新しい地層の上に，左側のカコウ岩がのし上がって，逆断層になっている
断層面にそって，カコウ岩はねん土化していて，ハンマーをさしこむことができる。また，カコウ岩は割れ目だらけになっているが，これは，地表にあらわれる前から，地下でこわされて上がってきたことを示している

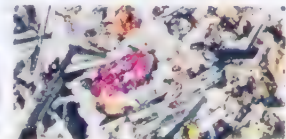
●生駒山のハンレイ岩

生駒山地は，大部分がカコウ岩類でできていますが，山頂付近(標高642m)がこんもりと高くなっているのは，まわりのカコウ岩よりはかたい(風化やしん食に強い)ハンレイ岩があるためです。このハンレイ岩は，カコウ岩の中にだきこまれていて，根なし岩体になっています。

生駒山のハンレイ岩は，まっ黒でつぶのあらい深成岩です。もしも生駒山に，このハンレイ岩がなかったら，あの特徴的な山のすがたはなかったでしょう。

ハンレイ岩といえば，生駒山のほかに，日本の各地で見られますが，ここには，四国の室戸岬の岩石もあげておきましょう。

▲**生駒山の風化したハンレイ岩**
生駒石として石材に使われている

▲**生駒山のハンレイ岩**
大きなカクセン石（黒い部分）がふくまれているつぶのあらいもの

◀**生駒山のハンレイ岩**
まっ黒で，ややつぶの細かいもの

◀**室戸岬のハンレイ岩**
ひじょうにつぶのあらいもの

▼**顕微鏡で見たハンレイ岩**

◀**室戸岬のハンレイ岩**
ややつぶのあらいもの

▼**顕微鏡で見たハンレイ岩**

火山岩のいろいろなすがた

今，活動している火山のことになると，溶岩や火山弾などがひきあいに出されますが，同じ火山岩でも，アンザン岩やゲンブ岩などは，それが実際の火山作用とどうかかわっているかに気づかずに，その名まえにとらわれてしまいがちです。

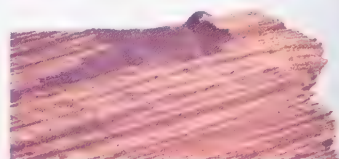
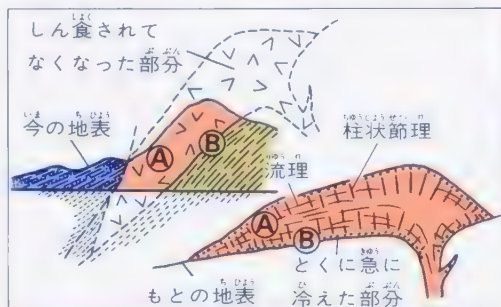
生きている火山が身近にない所でも，古い時代の火山が，しん食されて，もとのすがたを残していないものならあちこちにあります。そこでは，火をふいている火山のようなはでさはないが，しん食されたために，もとの火山体の首や胴にあたる部分や，ときには溶岩の足のうらさえも見せてくれることがあります。

今はかたく冷たくなっている岩石から，もとは熱い液状のものが，地下から上がってきて地表を流れたものであることを，目で見て学んでみましょう。

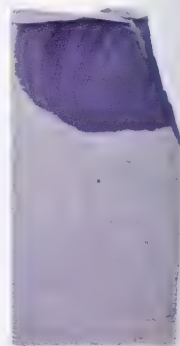
●二上山の岩石

（太子町の石切場）

奈良県と大阪府の境にある二上山の火山岩で，千数百万年前の古い時代のものです。

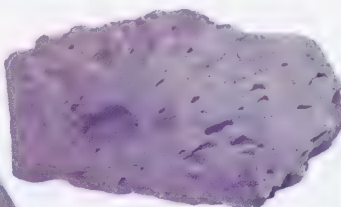
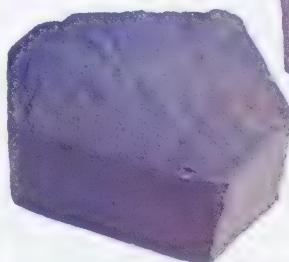
同じ溶岩体でも，部分によって（右の図のⒶⒷ），岩石のようすがちがいます。

▲流理のあるアンザン岩　"ふちとり石"ともよばれている四国のアンザン岩（サヌカイト）で，流理のためにおもしろい形をしている。

▲Aの部分のアンザン岩　かなりちみつで，斑状のつくりはよくわからないが，流れ模様がある。

▲Bの部分のアンザン岩　まっ黒でガラスのようになっているため，とくに急冷したことがわかる。

▶風化面と流理　風化して白くなった節理面には，細かい流れ模様（流理）が見える。こんなちみつなガラス質の岩石も，もとは液状で流れたということがわかる。

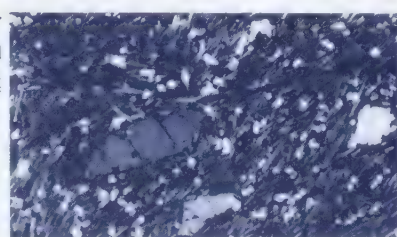
●玄武洞の岩石（兵庫県）

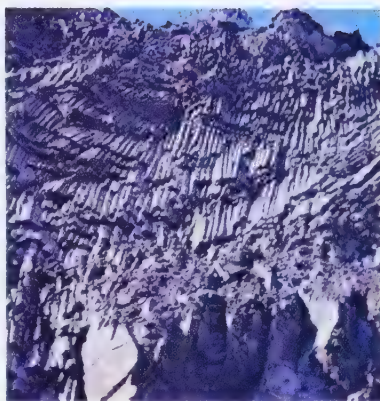
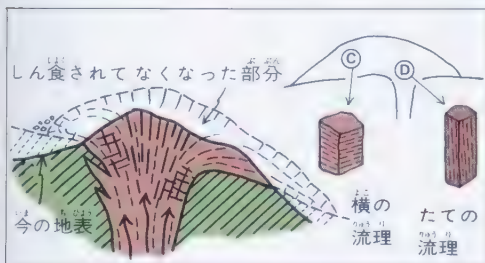
柱状節理がみごとなゲンブ岩の溶岩流で，熱いものが冷えて割れたことを示しています。この岩体の下部では，ガスがぬけ出て，横にのびたあなの多いところもあります。

▼ゲンブ岩の柱状節理

▲ガスがぬけ出たあとのあなが残っているゲンブ岩

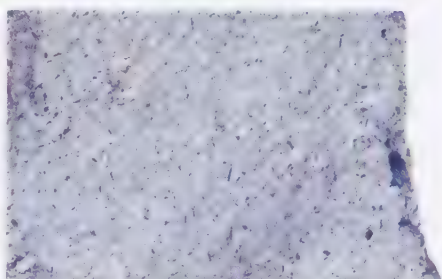
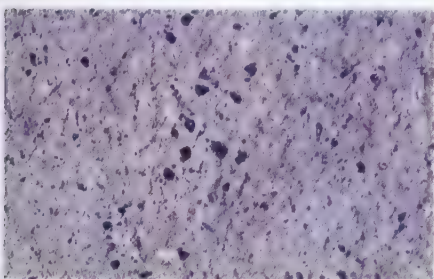
▶柱状節理のゲンブ岩　横方向に見えるすじが流理。

◀玄武洞の露頭

▶顕微鏡で見たゲンブ岩　チョウ石の細かい結晶が，流れ模様をあらわしている。

●二上山の石切り場の岩石

露頭には柱状節理があり，図のように流理も節理もほとんど上下方向です。ここは，ドーム状の溶岩体の首のところを見ていることになります。

▲石切り場の露頭

▲柱状節理と流理

流理が上下(たて)の方向にあり，前のページのアンザン岩とは，方向がちがう前のものは，図のCの部分の岩石で，これはDの部分にあたる

▲アンザン岩　この岩石の流理は，ウンモのならび方でよくわかり，平たいウンモがならんだ面で割れやすい(左)。それを横から見ると(右)，ウンモが細いすじになって見える。白っぽい基地に，黒(ウンモ)と赤(ザクロ石)の結晶が斑晶として，斑状のつくりがよくわかる

●鉄平石（長野県）

鉄平石は，石材に使われているアンザン岩で，長野県の霧が峰のふもとに石切り場があります。板状の節理がよく発達しています。平らな節理面は，鉄さび色に風化していますが，光にあてると，チョウ石の斑晶が光って見えるので，火山岩のつくりをもった岩石であることがわかります。

▲鉄平石の露頭

▲鉄平石　平らな節理面は，鉄さび色に風化していて，光にあてるとチョウ石の斑晶が光って見える

▲鉄平石　断面では黒っぽいキ石の結晶が見えやすい。顕微鏡で基地の部分の流理を見たうえで，もう一度割った面を見ると，大きいチョウ石の結晶が波をうちながら，全体として板状の面に平行な流理があるように見える

▼顕微鏡で見た鉄平石　細かい基地の部分には，小さいチョウ石の結晶の流れ模様があり，溶岩流として流れたようすを残している

●耳成山の岩石（奈良県）

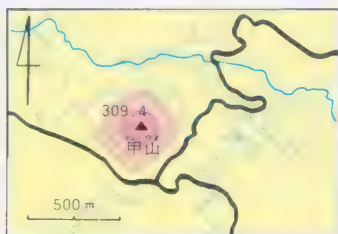
耳成山は，奈良盆地の南はしにあるぽつんと独立した山で，リュウモン岩でできています。

流理は，ほぼ直立しているため，この山はほとんどがしん食された残りで，いまの山の形は，もとの火山のすがたではありません。

▲耳成山(大和三山の１つ)

▲リュウモン岩

●甲山の岩石（兵庫県）

山の形からつりがね状火山と見るのはまちがいで，頂上のアンザン岩には，たての流理があり（右上の岩石），ふもとにころがっている大きな石には，アンザン岩がカコウ岩にはいりこもうとした境目もあります（右下の岩石）。このことから，もとの山はしん食されていて，右の図のように首の所が見えていることになります。

◀アンザン岩　たての流理がある

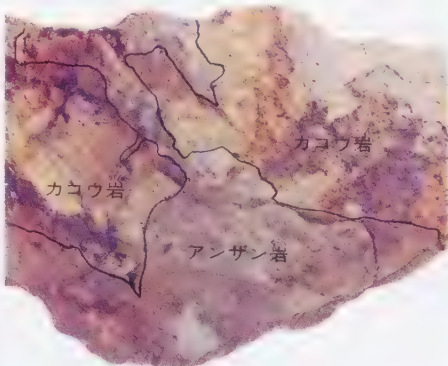
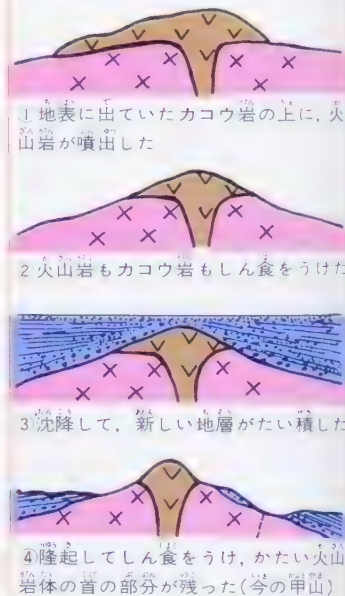
▼ふもとの大きな石　アンザン岩とカコウ岩の境目が見える

甲山ができるまで

①地表に出ていたカコウ岩の上に，火山岩が噴出した

②火山岩もカコウ岩もしん食をうけた

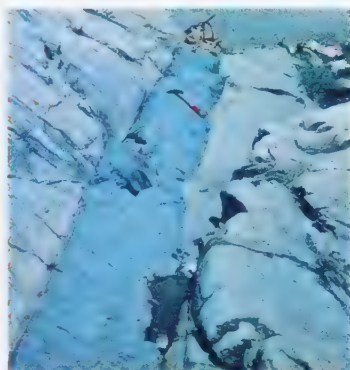
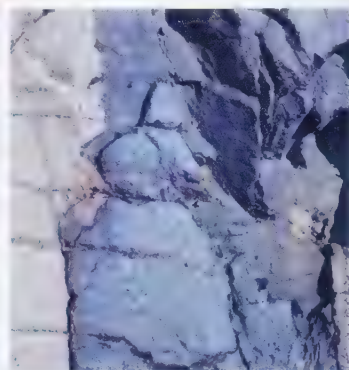
③沈降して，新しい地層がたい積した

④隆起してしん食をうけ，かたい火山岩体の首の部分が残った（今の甲山）

●首なし像

耳成山や甲山，また前のページの二上山の火山岩体にしても，その大部分がしん食されているので，その生き残りの山の形を，そのまま新しい今の火山のすがたにあてはめるわけにはいきません。首や胴がこわれてなくなった古代の彫刻像のようなものです。

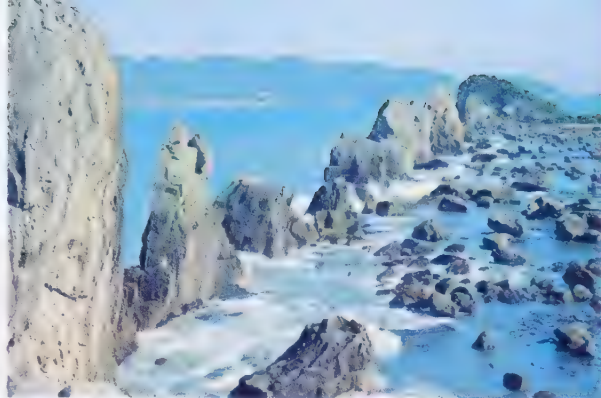
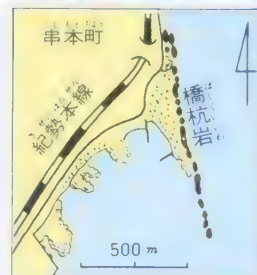
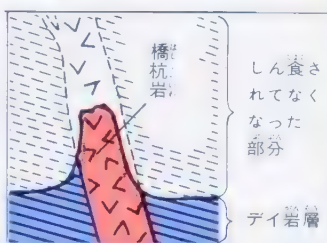
しん食されたおかげで，もとの火山体の中の部分まで，見ることができます。

●摂津峡の岩石（大阪府）

カコウ岩の割れ目の中にはいりこんだ火成岩の岩脈は，たぶん地表までは出なかったもので，それがしん食されて，川底によく見られるようになったものと思われます。チョウ石の斑晶のならび方で流理がわかり，接触部はちみつで，急に冷えたことを示しています。

▲火成岩の岩脈　黒っぽい色の部分が火成岩で，カコウ岩の割れ目の中にはいりこんだもの

▲火成岩の岩脈　カコウ岩のかけらをとりこんだり，小さい枝か，カコウ岩のすき間にはいりこんだりしている

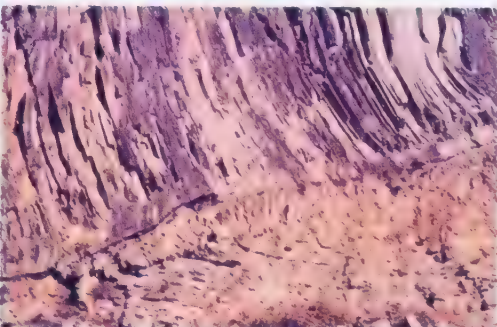
●橋杭岩(和歌山県)

橋杭岩は，テイ岩層の中にはいりこんだセキエイハン岩の岩脈で，干潮のときには，その境目が見られます。テイ岩は，波でしん食されやすいため，岩脈だけが残ってつき出ています。もとはひと続きだったものが，割れ目にそってこわされ，その名のように，杭がならんだように見えるわけです。

▲橋杭岩　上の白っぽいのがセキエイハン岩で，下の黒っぽい部分がデイ岩

▲橋杭岩

●材木岩(宮城県)

かなり大きなセキエイハン岩の岩脈で，地層の層理をななめに切ってはいりこんでいます，みごとな柱状節理のために，この名がついたものと思われます。これも接触部はちみつになっています。

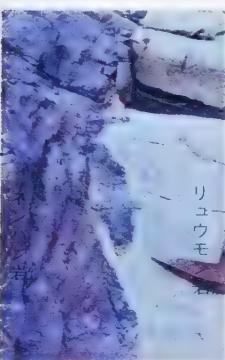
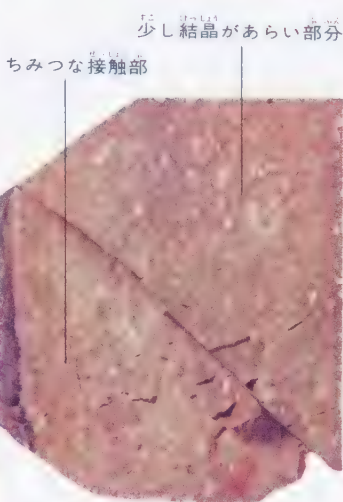
◀材木岩(上部)

▼材木岩の下部の地層との接触部

●リュウモン岩

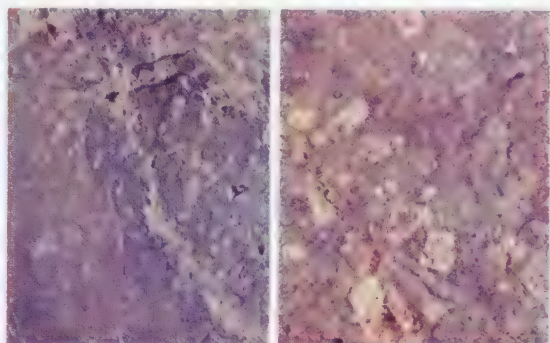
古い時代のネンバン岩の中にはいりこんだリュウモン岩で，たぶんそのときには，地表までは出なかった岩脈かもしれません。

▲リュウモン岩の岩脈

少し結晶があらい部分

ちみつな接触部

▲リュウモン岩　接触部は急冷してちみつであること，岩体の中の方は少し結晶があらいことや流理があることなどから，流動性をもった熱いものがはいりこんできたことがわかる

●セキエイハン岩

これはネンバン岩の中に貫入したセキエイハン岩で，まわりの接触部と中の方とでは，斑状のつくりのようすがちがいます。

▲接触部のセキエイハン岩(左)には，ちみつな急冷部があり，つぶが細かい。セキエイハン岩(右)の中の方には，はっきりしたセキエイやチョウ石などの大きな結晶があり，斑状のつくりをもっている。中の方が，より流動性があったために，大きな結晶が多くなったと思われる。

火山の噴出物

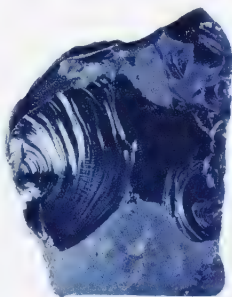
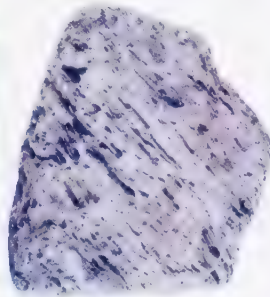
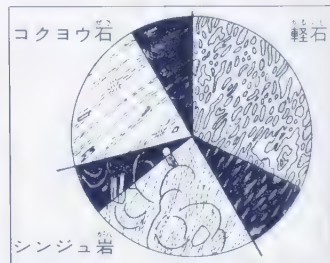
火山岩を，そのつくりと，液体状で熱かったということの手がかりとから見てきました。

ここでは，生きている火山の噴出物のようすを，液体と固体の２つのすがたで，とらえてみることにしましょう。

１つは，高温で液状の溶岩流で，もう１つは，ふき上げられて落ちてきた降下火山たい積物です。

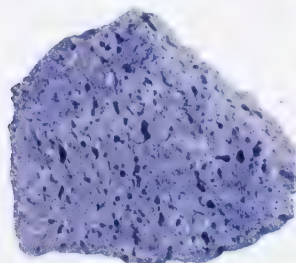
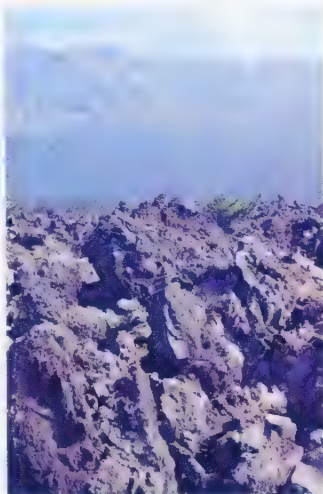
●コクヨウ石と軽石

どちらもリュウモン岩のなかまですが，外見はまったくちがいます。

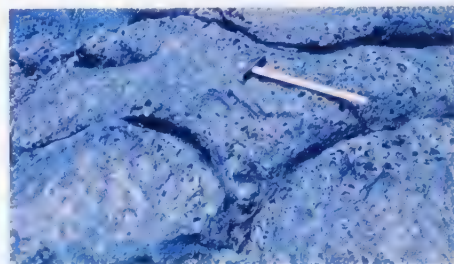
偏光装置※で見ると，どちらも光を通さずまっ暗で，ガラス質(非結晶質)であることがたしかめられます。

▲コクヨウ石

▲軽石

▲顕微鏡で見たリュウモン岩のなかま
黒い部分は，十字ニコルで見たもの

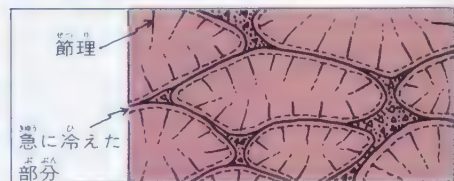
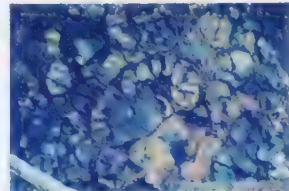
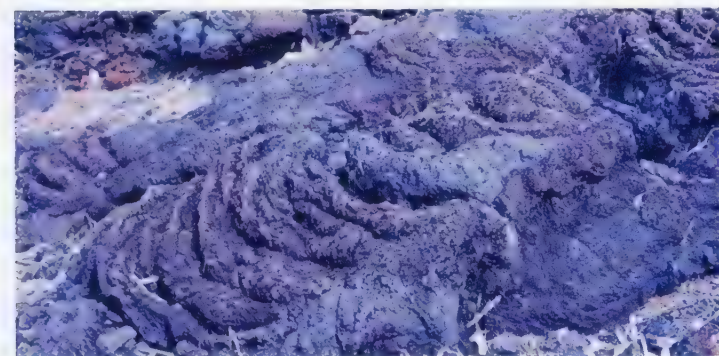
●溶岩

溶岩というと，桜島などのガスのぬけ出たあなの多い火山岩が，標本としてとり上げられるのがふつうですが，溶岩とは，その岩質まであらわす岩石の名まえではなくて，流動性のあるすがたをあらわすことばです。

ですから，アンザン岩の溶岩，リュウモン岩の溶岩，ゲンブ岩の溶岩など，いろいろあるわけです。

▲桜島の溶岩　桜島は，爆発的な噴火をくりかえして，たくさんの火山灰や軽石をふき出した　1914年の噴火では，溶岩流が大隅半島とむすびついた　ここの溶岩は，かなりねばり気(粘性)の大きいアンザン岩

▲まくら状溶岩の露頭(高知県)　ゲンブ岩などの溶岩流が海の中に流れこんで，まくらのような形のかたまりが，粘性をもったままつぎつぎに重なり合ってできたもの。今は陸上に見られるが，古い時代に海中でできたもの

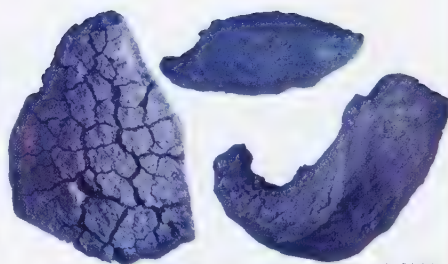
▲ガスがぬけ出たあなの多い溶岩

▲まくら状溶岩(高知県)
まくらの形から上下がわかる

◀まくら状溶岩(福島県)

▲なわ状溶岩　なわをねじったようななわ状溶岩は，粘性の小さいゲンブ岩であることが多い　写真は，富士五湖の本栖湖の付近に見られるもの

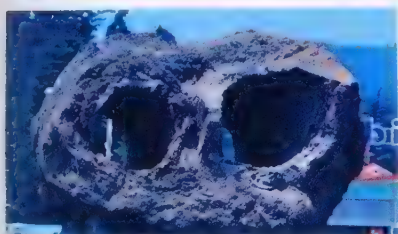
▲まくら状溶岩のモデル図

※偏光装置　２枚の偏光ニコル(平行と十字)を使って光の通り方を見るもので，そのようすから，物の性質を見分けることができる

火山弾

火山弾は，火山の爆発で火口からふき上げられた溶岩が，まだ熱くて粘性をもったまま，空中を飛ばされてできたものです。いろいろな形をしているのは，溶岩の粘性のちがいのためで，粘性の小さいゲンブ岩質のものでは，ねじれたり，ぼうすい状のものになったりします。粘性の大きいアンザン岩質のものでは，パン皮状のひび割れができていたりします。どれも，こわれた火山岩のかけらとはちがう形をしています。

▲パン皮状の火山弾　▲ぼうすい状の火山弾

溶岩樹型

樹木の幹が，溶岩流にとりこまれて炭化し，そのぬけあなが溶岩樹型とよばれるものです。あなの内部には，樹木の幹の形や，細かい割れ目のあとが残っています。

▲溶岩樹型(富士山)

火山灰と砂

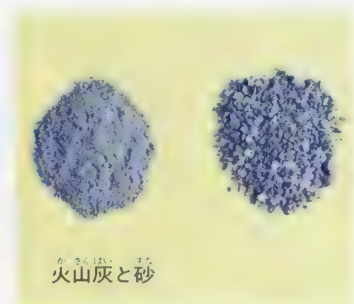
細かい溶岩のかけら（ふつう4mm以下を火山灰）には，火山ガラスのかけらや，そのほか結晶のかけらなどもふくんだりします。

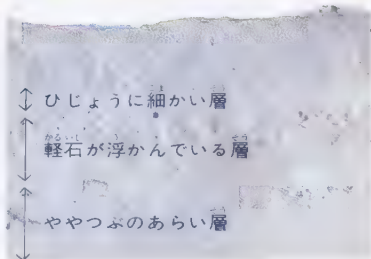
火山灰と砂

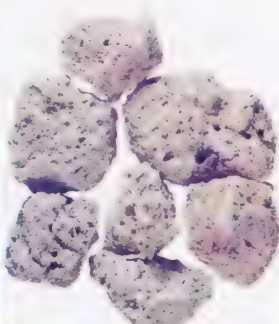
ギョウカイ岩

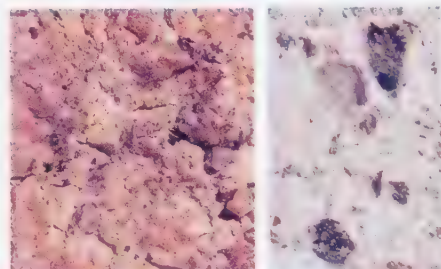
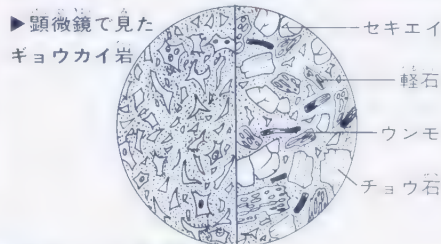
火口に近くないかぎり，大部分は固体で降り積った火山灰や火山岩のかけらです。たい積岩としてもあつかわれますが，もとは火山噴出物のなかまです。火山れきや火山灰のふくまれる割合や，れきの種類などによって，いろいろよび名が変わってきます。

▲ギョウカイ角レキ岩　▲軽石質ギョウカイ岩

▶顕微鏡で見たギョウカイ岩

水中の火山灰

これは，つぶの細かい火山灰とあらい火山灰とが重なり合った地層の一部で，小さい軽石が浮んでいることからも，水中でたまって層になったことがわかります。

降下軽石層

火山の噴火活動にともなって，降った軽石が積み重なり，厚い地層となったものです。

▲降下軽石

◀降下軽石層　軽井沢の付近で見られるもので，浅間山の活動で積ったもの。

降下火山灰層

火山灰の層は，大島の切り通しで見られ，何回も降り積ってできたものです。地層を見ると，しゅう曲や，不整合のように見えますが，これは，もとの地面のでこぼこにそって，火山灰が降り積もったものです。

▲三原山のふもとで見られる降下火山灰層

火砕流たい積物

火山活動として、火口から流れ出した溶岩や、火山灰や軽石などの降下たい積物などを見てきました。

ところが、多量の火山ガスと火山灰、軽石、火山岩などのかけらがまざって、斜面をすごいいきおいで流れ下るような噴出のしかたがあります。

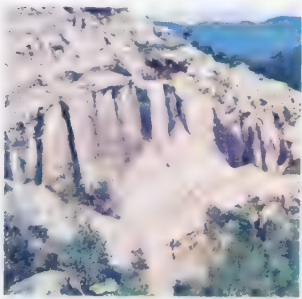
このような噴出物を、ふつう火砕流たい積物といっています。高温をたもったまま厚くたい積すると、自分の重みと熱のために、まだねばり気を失わないでいた軽石や火山灰、火山岩のかけらなどがおしつぶされて、かなりかたい岩石（溶結ギョウカイ岩）になります。

火砕流たい積物には、柱状節理などもできて、液体から冷えた火山岩とまちがえるほどです。

多量の火砕流を出したあとには、落ちこみ（カルデラ）をつくることがあり、阿蘇山が有名です。

● 二上山の火砕流たい積物（大阪府・奈良県）

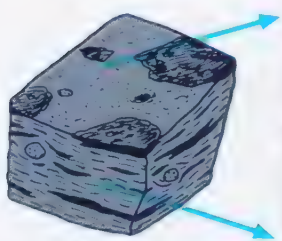
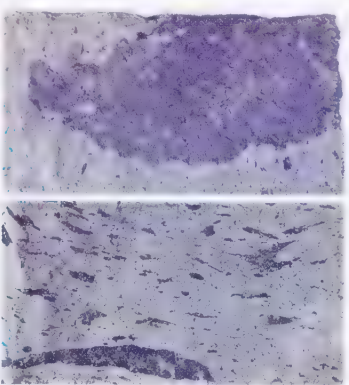
火砕流たい積物は、高温の流動体が斜面をはやい速度で流れて低地にたい積するため、ふつうの降下たい積物とはちがい、乱流状態でたい積します。

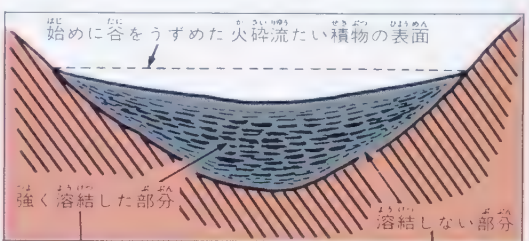
これはまた、水中に運ばれてたい積したふつうのたい積岩の地層とも、ちがったようすをしています。

▲露頭

◀二上山の火砕流たい積物の露頭

● 臼杵の火砕流たい積物（大分県）

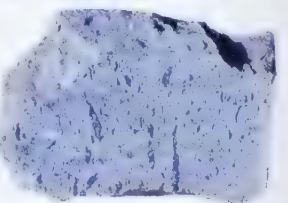
ここのたい積物は、新生代第四紀（約200万年前）のころの火山活動で、阿蘇の外輪からはるばる臼杵湾まで、70kmも流れて台地状になったものです。溶結の強い部分では、ガラス質のレンズ模様がはっきりしています。

▶臼杵の溶結ギョウカイ岩（上から見たもの）

▶臼杵の溶結ギョウカイ岩（横から見たもの）

● 鹿谷の火砕流たい積物（大阪府）

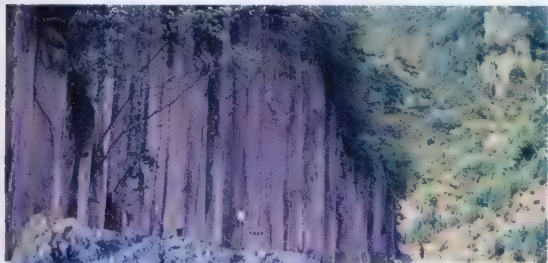
下の図に示したように、火砕流たい積物の中の方は強く溶結しても、まわりの部分は、熱がはやくにげて、溶結しないかさかさのギョウカイ岩になっていることがあります。強く溶結した部分は、まっ黒でちみつなガラス質のコクヨウ岩のように見えます。

▲鹿谷の火砕流たい積物の露頭

▶鹿谷の岩石（溶結の模様がよく見える）

● 濃飛の火砕流たい積物（岐阜県）

濃飛岩体とよばれる火砕流たい積物は、岐阜県を中心に広く分布していて、中生代の火山活動でたい積したものです。

▲濃飛の溶結ギョウカイ岩

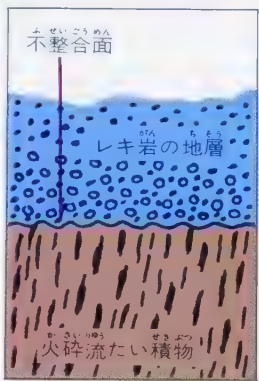
●香落渓の火砕流たい積物（三重県）

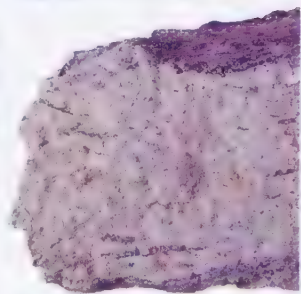
室生寺のあたり一帯に広く分布する厚い火砕流たい積物は、阿蘇や耶馬渓などよりも古い時代（新生代第三紀）のもので、1400万年前ほどのものとされています。香落渓のほかに、付近には赤目滝などの景勝地があります。

▲香落渓の火砕流たい積物の露頭　「天狗の柱」とよばれる柱状節理が見られる

◀香落渓の溶結ギョウカイ岩

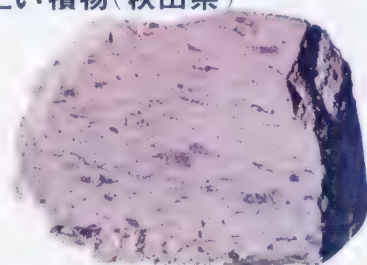
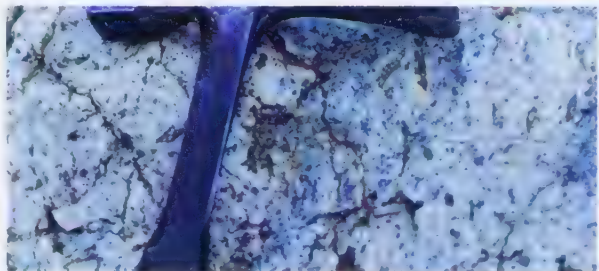
●泉南の火砕流たい積物（大阪府）

ここのたい積物は、中生代に噴出した火砕流で、この層の上には、和泉層群とよばれる地層のレキ岩がのっていて、不整合を示しています。

◀泉南の火砕流たい積物の露頭

●耶馬渓の火砕流たい積物（大分県）

耶馬渓のたい積物も、溶結ギョウカイ岩です。阿蘇外輪の噴出物の阿蘇溶結ギョウカイ岩によくにていますが、九重火山をへたてているので、噴出の場所もちがい、また、その時期も少し前に噴出したものとされています。

▲耶馬渓の溶結ギョウカイ岩

●男鹿の火砕流たい積物（秋田県）

男鹿半島の南海岸の台島のあたりに見られる溶結ギョウカイ岩で、新生代第三期の火山活動にともなってたい積したものです。

▲男鹿の溶結ギョウカイ岩

▲溶結したガラス質のレンズ状の形のものは、地殻変動のために直立したもので、そのしん食面の上に和泉層群のれき層が重なっていて、不整合になっている。下に教科書などによくのっている不整合の例をあげてあるが、ここの火砕流たい積物の層は、不整合の新しい型として加えることもできる。

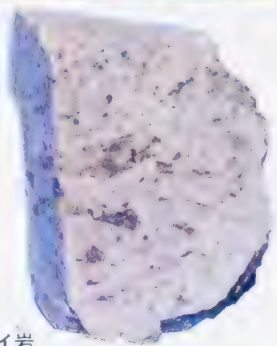
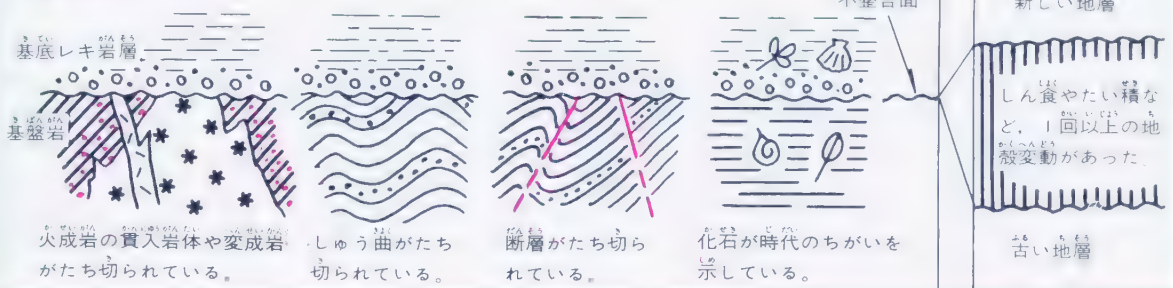
▶泉南の溶結ギョウカイ岩

不整合のいろいろ

火成岩の貫入岩体や変成岩がたち切られている。

しゅう曲がたち切られている。

断層がたち切られている。

化石が時代のちがいを示している。

いろいろな火山の噴火

火山といえば，その形のことが教科書などにものっていますが，１つの火山でも，時代とともに噴火のしかたも，噴出物の性質もちがってきたりすることがあるので，かんたんにひとことでいいあらわせないものです。

観光バスなどの案内で，休火山とか三重火山といったことばだけが，説明の中に出てきますが，実際にまどから見た景色と，どのようにむすびつくのか，なかなか理解しにくいものです。したがって，火山の一般的な外形をならべるだけではあまり意味がなく，それぞれの火山の噴火の歴史を，くわしく調べることがたいせつになってきます。

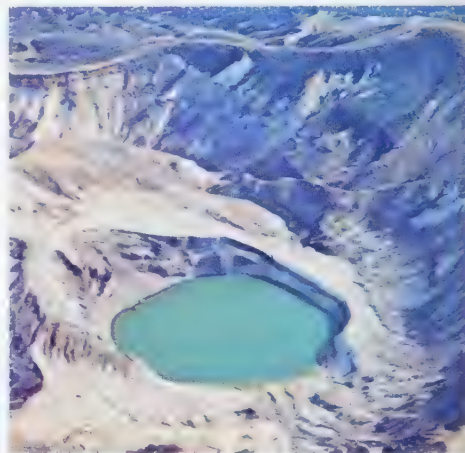
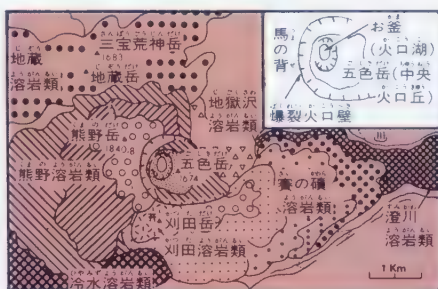
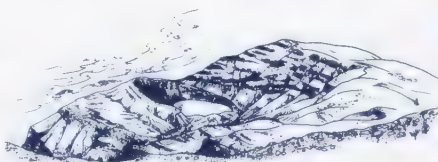
ここでは，むりに噴火の形式を分類的にとり上げることはさけて，火山を目で見て感じとるきっかけになることを中心に，いくつかの例を見てみましょう。

▲秋田駒ケ岳の噴火(1970年９月)

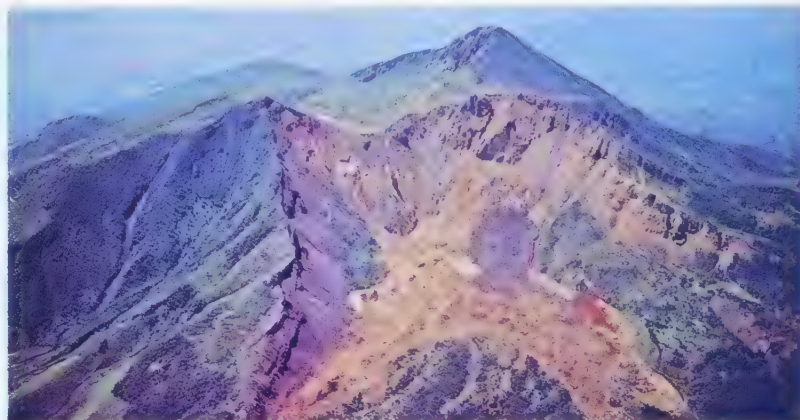
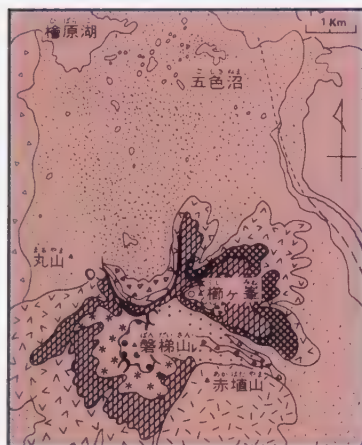
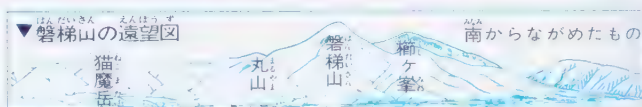
●蔵王山(山形県)

蔵王山は，熊野岳から刈田岳に連なる馬の背の火口壁，中央火口丘の五色岳と火口のお釜がながめの中心です。

まずはじめに，冷水，地獄沢，地蔵，澄川，熊野，賽の磧，刈田の溶岩類が噴出し，山体の大部分ができました。

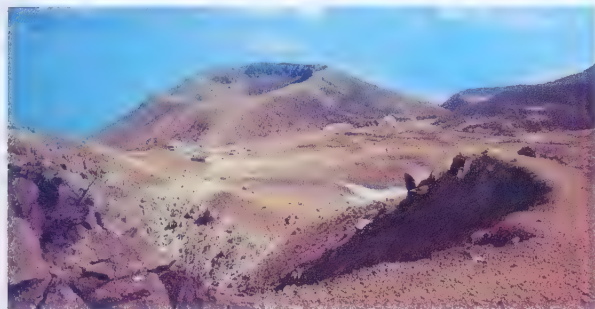
その後，中央火口丘の活動や爆裂がおこり，今のような蔵王山の形になりました。

▲蔵王山の火口湖(お釜)

●磐梯山(福島県)

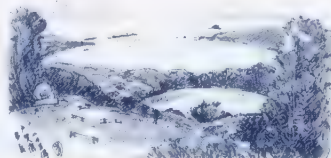
中央部には，大磐梯と櫛ケ峰にかこまれた火口状の沼の平があり，その北には，1888年の水蒸気爆発で小磐梯をこわした絶壁が開いています。そこから泥流を流した地形が続き，ふもとには，泥流でせき止められてできた湖沼がたくさん見られます。

▲磐梯山(ほぼ北からながめたもの)

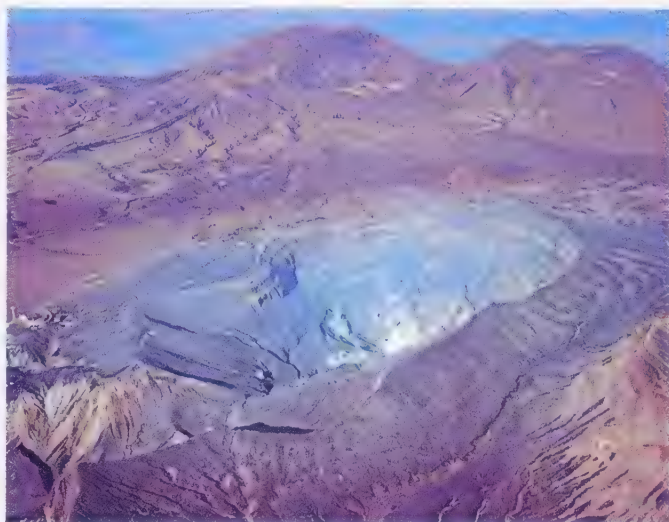
●吾妻小富士(福島県)

東吾妻火山群の高山，東吾妻山，一切経山などの山にかこまれた所に小さいが形の整った吾妻小富士があります。小富士は，高山植物でおおわれていますが，一切経山は，今も硫気を出し続けていて，山はだがむき出しになっています。

▼吾妻小富士

●男鹿半島のマール(火口湖)(秋田県)

戸賀湾に近い台地に，ぽっかりとあなをあけたような一の目潟，二の目潟，三の目潟とよばれる湖があります。これは，溶岩を流さずにガス爆発でできたもので，そのまわりには，火山れきや，地下深い所のいろいろな岩石のかけらが見られます。

▶戸賀湾とマール　手前から三の目潟，二の目潟，一の目潟。

●阿蘇山(熊本県)

阿蘇山は，はげしい熱雲式の噴火で多量の火砕流を出し，そのあとに巨大な陥没カルデラをつくりました。カルデラ内の火口原にたまった水がひいたあと，中岳，高岳，杵島岳，往生岳，烏帽子岳の中央火口丘群や根子岳が，ほぼ東西方向にならんで噴火しました。溶岩は，おもにアンザン岩とゲンブ岩で，リュウモン岩もふくまれています。

▲阿蘇山　今も活動を続けているのは，中岳の火口で，1933年に溶岩を出したほかは，火山灰を降らせたり，ガス噴出を続けたりしている

●昭和新山(北海道)

洞爺湖岸の平らな畑が，1943年末から地震をともなって隆起しはじめ，その後，地割れとはげしい爆発による火山活動で，150ｍもも り上がって屋根山をつくりました。その中から溶岩のかたまりがつき出てきて，もとの地面から約260ｍの高さのドームになりました。

▲洞爺湖岸にならぶ有珠岳(左)と昭和新山(右)　どちらもセキエイアンザン岩質のドーム状溶岩の火山。遠くの山は羊蹄山

▲昭和新山のドーム　かたまりかかった溶岩が，まわりの地層とこすりあい，ユリの球根のように分かれてつき上がってきたようすが見られる

火成岩のまとめ

セキエイ
高温型セキエイの結晶
顕微鏡で見たセキエイ
染色したもの
低温型セキエイの結晶
顕微鏡で見たセキエイ
染色したもの
チョウ石
シャチョウ石
アルカリチョウ石
染色したもの
100%
80%
60%
40%
20%
無色鉱物のふくまれる割合
有色鉱物のふくまれる割合から分ける(色指数)
白っぽい(珪長質)(ケイ酸分が66%以上)
チョウ石の種類から分ける
アルカリチョウ石とナトリウムの多いシャチョウ石
アルカリチョウ石のほうが多い
アルカリチョウ石のほうが少ない
岩石のつくりと結晶度から分ける
岩石のつくり
結晶度の度合い
冷え方と産状
ほとんど空席の電車
かなりすいた電車
斑状のつくり
おとなと子どもが乗った満席の電車
ラッシュのときの満員の電車
等粒状のつくり
ほとんどガラス質
結晶とガラス
自形の結晶(斑晶)が、細かい基地(石基)の中にちらばっている
全部結晶(完晶質)
かなり大きい自形の斑晶が、細かい結晶質の石基の中にちらばってはいっている。
全部が結晶でできていて、ぎっしりかみあっているため、他形の結晶の集まりになっている。
ひじょうにはやく冷えた
溶岩流・岩脈など
はやく冷えた
火山岩
ややゆっくり冷えた
大小の岩脈など
(半深成岩)
ゆっくり冷えた
大小の岩体
深成岩
リュウモン岩
リュウモン岩
リュウモン岩
セキエイアンザン岩
セキエイハン岩
カコウハン岩
カコウセンリョクハン岩
カコウ岩(万成石)
カコウセンリョク岩
カコウ岩(庵治石)
カコウセンリョク岩

火成岩類の分類

1 ふくまれる鉱物と化学組成から

・白っぽい，黒っぽいというのは，岩石の色そのものではなく，有色鉱物のふくまれる割合（体積比）で決めている　（色指数）

・白っぽい(硅長質)岩石は一般にケイ酸分が多く，黒っぽい（苦鉄質）岩石は少ない。ふつう66%と52%(重量比)を境にして3区分する。また，約40%以下のものをとくに超苦鉄質の岩石とよぶ

・チョウ石には，アルカリチョウ石とシャチョウ石があり，それらの種類と，ふくまれる割合とからも岩石の区別ができる

2 岩石のつくりとでき方から

この図表の左側に示されている岩石のつくり，結晶度の度合い，冷え方と産状から3区分できる

以上の①と②との組合わせからこの分類表ができている

熱変成岩

たい積岩は，どろや砂や，石ころが積み重なって，何かが，そのつぶとつぶのすき間をうずめてかたまることを前に見てきました。（114～115ページ）

そのほかに，たい積したのちに，しだいに水をふくんだままある種の鉱物（ねん土鉱物）が成長していって，おたがいに手をつないだような形でしまり合っていくように，岩石がかたまり，かたくなっていくこともあるわけです。

このようにして，厚くたい積した地層が，しだいに地下深くおしこめられていくと，いろいろな火成岩の通り道になったり，火成岩の中にとりこまれたり，さらに，地殻の変動をうけて圧力と温度のために，その岩石がとけるまでにはいかなくても，いろいろな鉱物が成長して，もとの岩石がしだいに変成していきます。教科書などで，ネンバン岩をふつうのたい積岩と変成岩の中間のものとしてあつかっているのも，そのためです。

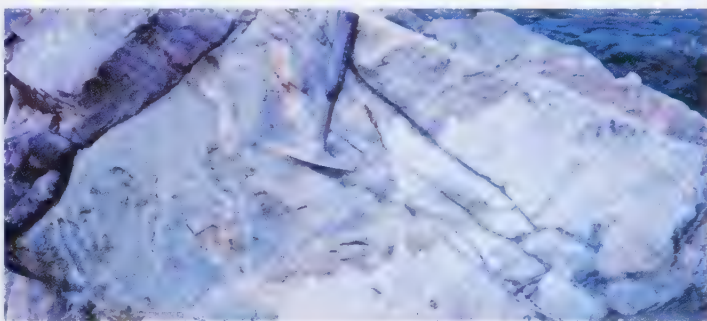
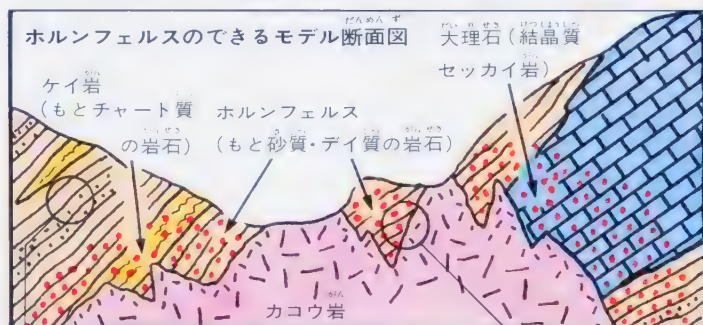
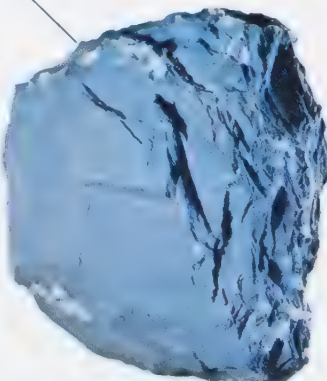
カコウ岩のような深成岩がゆっくり冷えるときには，まわりをとりかこんでいる岩石が，その熱のためにやけどをします。このやけどをした岩石が熱変成岩といわれるものです。一方，厚くたい積した地層が地下深くおしこめられて，高い圧力とかなりの温度（200～800℃）と熱水のために，長い間（100万年とか1000万年など）に変成作用をうけながら，結晶質の岩石になったものを広域変成岩といいます。

熱変成をうけた岩石を，まとめてホルンフェルスといいますが，もとの岩石には，でい質，砂質，石灰質，チャート質など，いろいろあります。変成岩は，カコウ岩などと同じように，地下深くでできたもので，直接見ることはできませんが，その後の地殻変動のおかげで，今わたしたちの身のまわりでも見られます。

ここでは，それらがどんなようすをしているかを，とり上げてみましょう。

●ネンバン岩とホルンフェルス

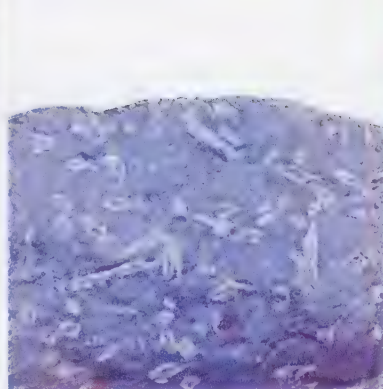
地下深い所で，ネンバン岩の層に熱いカコウ岩がはいりこむと，カコウ岩のまわりのネンバン岩はやけど（熱変成）をし，ホルンフェルスになります。ホルンフェルスは，もとのネンバン岩とちがって，色がやや深みがかっていたり，岩石のはだがざらざらしていたりします。

また，日光に当てると，ちかちか光って見えたりしますが，これは熱変成して，細かいクロウンモのほか，チョウ石やセキエイなどができて結晶質になった（再結晶した）ためです。

▲カコウ岩の接している露頭

▲カコウ岩は，もとの地層に接している部分では，つぶが細かい。また，カコウ岩の脈状の枝が，ネンバン岩の中にはいりこんでいる。

▲熱変成をあまりうけていないもとのネンバン岩

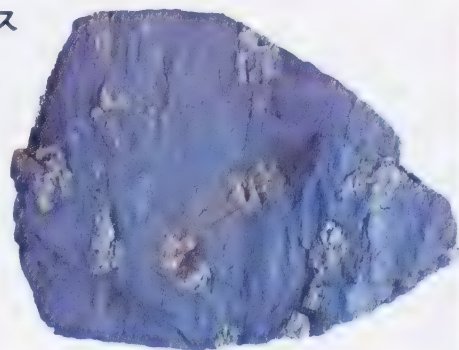
▲カコウ岩と接しているネンバン岩
ホルンフェルスになっているネンバン岩には，もとのたい積のときの，つぶのあらさ細かさのたい積模様が残っていて，これをたち切って，カコウ岩がはいってきたことがわかる

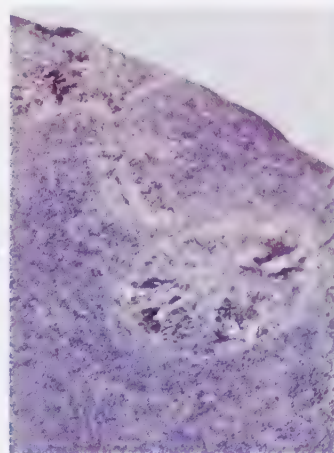
●コウチュウ石ホルンフェルス

コウチュウ石(紅柱石)が，変成鉱物の結晶として，斑状にはいっています。コウチュウ石は，その名のようにうす紅色をしていて，横切りにすると，右の標本で見られるようにひし形になっています。

▲コウチュウ石ホルンフェルスの露頭

▲コウチュウ石ホルンフェルス

●キンセイ石ホルンフェルス

キンセイ石が，斑状の変成鉱物の結晶としてはいっています。短い柱状の結晶で，3つの結晶がかみ合っているため，横に切った形は，6まいの花びらをもった花のようで，さくら石ともよばれます。

▲キンセイ石ホルンフェルス　キンセイ石の結晶が銀色に光って見えるのは，変質して，キヌウンモやリョクディ石などに変わりかけているため。

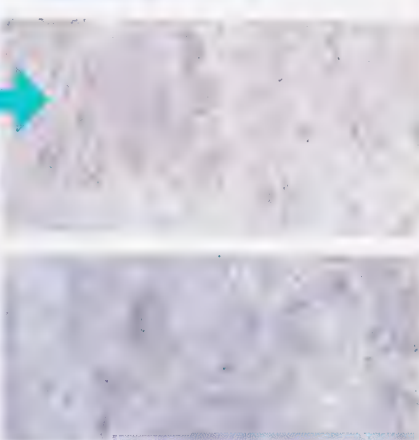
◀キンセイ石(さくら石)　風化した部分の土の中から，さくら石だけがひろい出せることがある。

▲キンセイ石ホルンフェルス　結晶の横切りの部分

●石灰質の岩石とホルンフェルス

セッカイ岩がホルンフェルスになると，ホウカイ石のあらい結晶の集りになります。それが大理石で，結晶質セッカイ岩ともよばれます。大理石のつくりは，ホウカイ石がかみ合って全部大きい結晶の集りになっています。大理石を割った面は，モザイク状にかみ合ったたくさんのホウカイ石の劈開面(割れやすい面)で光っています。

◀顕微鏡で見た大理石　目で見ると白い大理石も，偏光装置では，ステンドグラスのように美しく見え，全部結晶の集りであることがわかる。

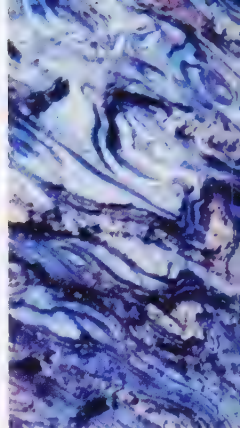
▲セッカイ岩

▼大理石(結晶質セッカイ岩)

▲大理石　ホウカイ石の劈開面で光っている。

▲劈開面で割れたホウカイ石

広域変成岩

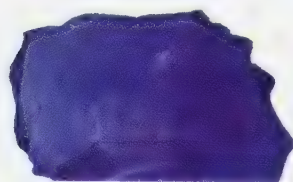
熱変成岩は，高温の火成岩体のまわりだけの変成作用ですが，広域変成岩は，厚くたい積した地層が，地下深くおしこめられて，高い圧力（数千気圧）と温度（200〜800℃）と水（熱水）の作用をうけながら，100万年とか1000万年といった長い年月の間に変成し，結晶質の岩石になったものです。

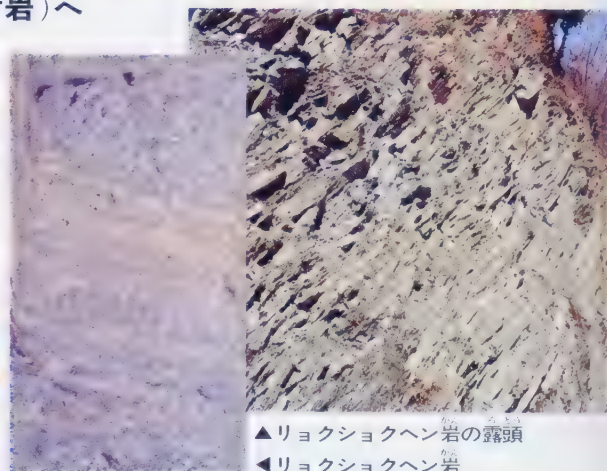
そのときに，うけた圧力や温度にみあった鉱物ができ，また，はたらいた力に応じて成長しやすい方向に結晶がならんで，はげやすい性質（片理）が発達します。さらに，結晶質のためにつやがあるのも特徴です。

● デイ岩からコクショクヘン岩（黒色片岩）へ

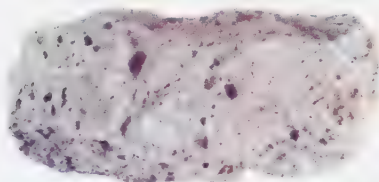
コクショクヘン岩は，でい質の岩石が広域変成をうけたもので，中にふくまれている炭素鉱物のために，黒い岩石になっています。クロウンモが多く成長している岩石は，クロウンモヘン岩とよびますが，ふつうは鉱物がよく区別できないので，一般にコクショクヘン岩とよんでいます。

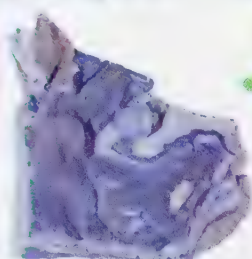
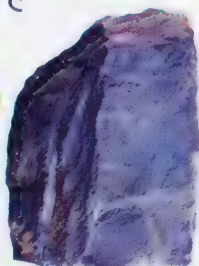
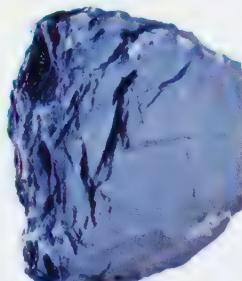
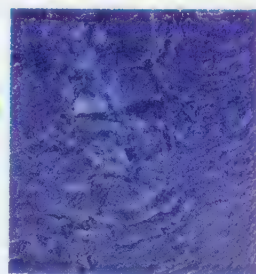
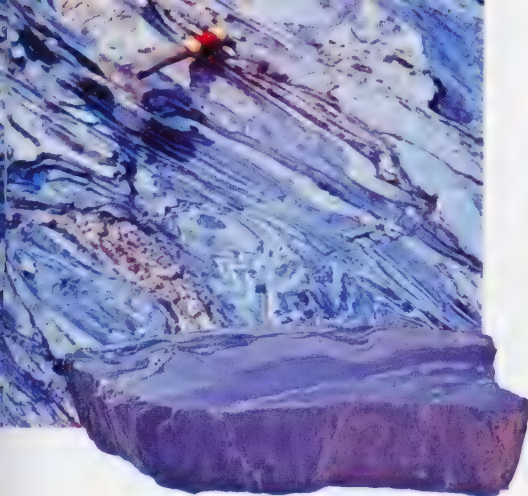
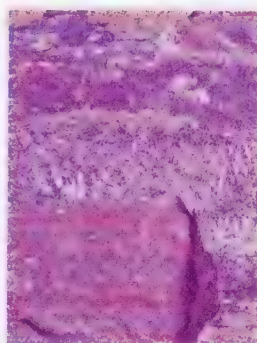
◀デイ岩

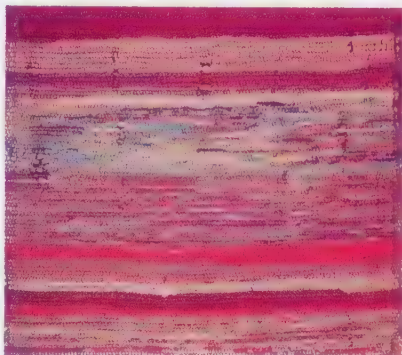
▼コクショクヘン岩

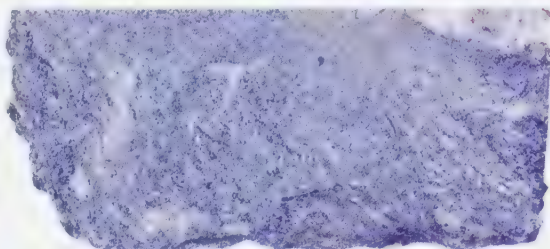
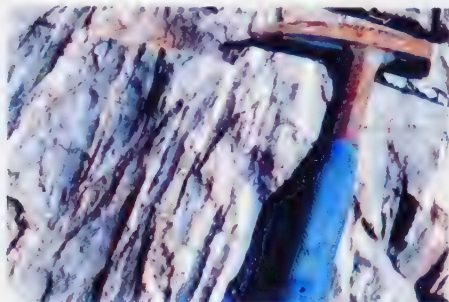
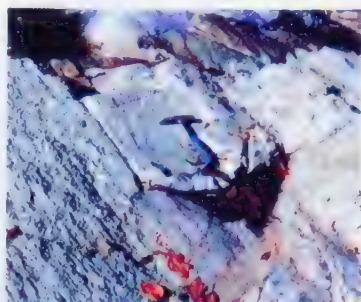
▲コクショクヘン岩の断面

● ギョウカイ岩からリョクショクヘン岩（緑色片岩）へ

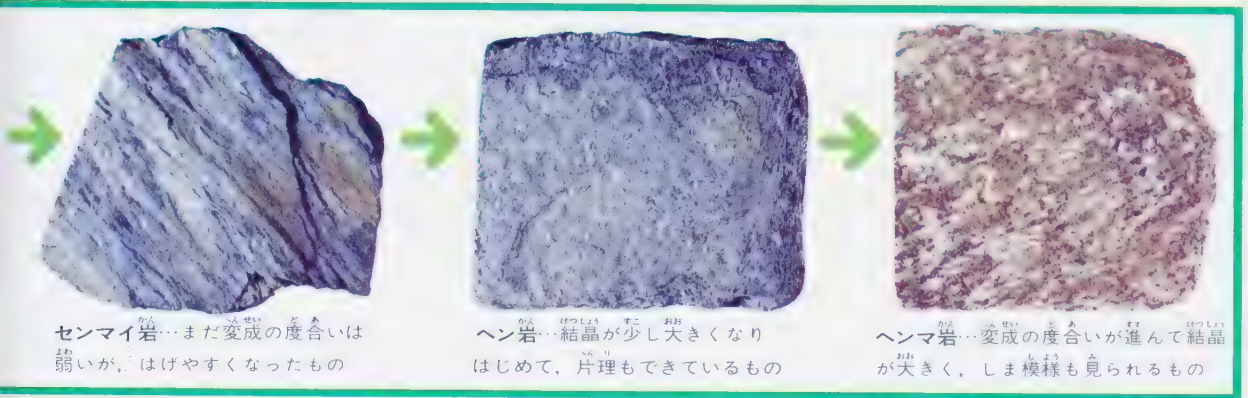
大谷石のようなギョウカイ岩や，火山噴出物などが，広域変成をうけてヘン岩になったものを，一般にリョクショクヘン岩とよんでいます。この岩石には，リョクデイ石やリョクレン石などの鉱物がふくまれているために，美しい緑色をしています。平らにはげやすいのを利用して，建物の壁などにはったり，模様の美しいものは，庭石などにも使います。

◀ギョウカイ岩

▲リョクショクヘン岩の露頭

◀リョクショクヘン岩

● デイ岩からヘンマ岩まで

デイ岩…少しかたまりはじめた新しい時代のもの

デイ岩…ややかたまった古い時代のもの

ネンバン岩…変成がはじまりかけたもの

ネンバン岩…変成が少し進み，はげやすくなったもの

▲コクショクヘン岩(黒色片岩)の露頭と岩石
全体としてコクショクヘン岩であるが，セキエイヘン岩質のしまが，その間にはさまっている。また，そのしまが細かく波をうって，美しい模様をつくっているところも見られる。

▲コウレンヘン岩（紅レン片岩）　コウレン石のはいったヘン岩で，セキエイ質のヘン岩をともなって，しま模様になっている。かざり用の石材としてよく使われている。

▼ヘン岩類の模様(つむぎ織りの布地)
ヘン岩類は，ふくまれる鉱物がしま状にならんでいて，そのおもな部分をしめる鉱物によって，黒色とか緑色とかの名まえがつけられる。この布地は，上からコクショクヘン岩，リョクショクヘン岩，コウレンヘン岩などの特徴をあらわしている。

●ヘンマ岩類

ヘン岩類からさらに再結晶の度合いが進み，結晶のつぶが大きくなって，そのからみ合いや，ならんだようすがわかるような岩石になると，ヘンマ岩とよんでいます。

◀クロウンモヘンマ岩
もとの岩石が，ネンバン岩質のもので，コクショクヘン岩をへて，クロウンモヘンマ岩になった。

▲しま状のヘンマ岩の露頭　デイ岩やサ岩からはげしい再結晶作用でできたもの。クロウンモを多くふくむ黒いしまと，セキエイやチョウ石をおもにふくむ白いしまがある。

▲セキエイ質のヘンマ岩の露頭
右側に白っぽい砂質(セキエイ質)のヘンマ岩があり，左側には，ガンキュウ(眼球)ヘンマ岩が続いている。

▲ガンキュウヘンマ岩の露頭
大きなアルカリチョウ石が成長していて，しま模様も見える。(この写真はひと続きの露頭になっている。)

センマイ岩…まだ変成の度合いは弱いが，はげやすくなったもの

ヘン岩…結晶が少し大きくなりはじめて，片理もできているもの

ヘンマ岩…変成の度合いが進んで結晶が大きく，しま模様も見られるもの

人と石との話し合い

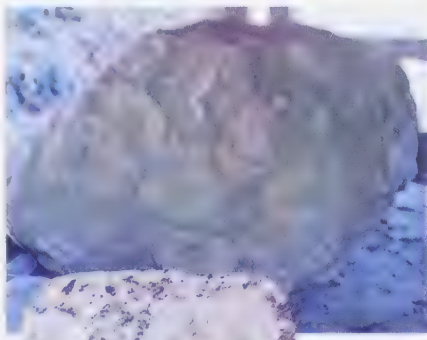
石は，わたしたち人類のはじめから使われてきました。

それらの石を見ると，石の性質をよく使い分けているのにおどろくばかりです。また，紀元前のギリシアの彫刻には，大理石がよく使われています。石をとおして，人間は心をあらわし，人間と石とが１つになった芸術の世界をも，自然の中から見いだしてきたのです。

しかし，ものをいわない石についての理解を深めるために，これからのわたしたちは，石をもふくめた自然と人間とのかかわり合いのたいせつなことを，いっそう深く考えていかなければなりません。

さて，石ころには個性があることを前にもふれましたが，人間は，石の個性をよく見つめ，また，その特徴をよくいかして使っています。

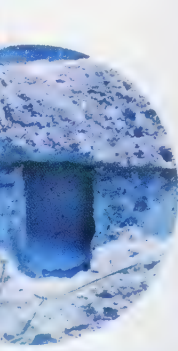
ここでは，そのようすをいろいろ観察してみましょう。

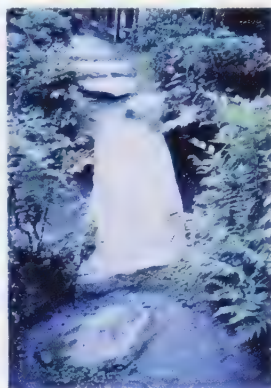
"菊面さま"とよばれて，小さいほこらにまつられているセンリョク岩で，天然記念物です。近くの畑をほると，風化した地はだにみごとな模様が見られます無色鉱物と有色鉱物とが，同心円状，放射状にならんだ球のはいった岩石です（宮城県）

▲ご神体の石
◀菊面石

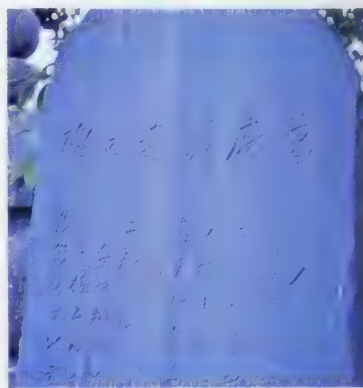
▲菊面石の露頭

▲当麻寺の燈ろう　近くにある鹿谷の溶結ギョウカイ岩でつくられた白鳳時代の燈ろう。（奈良県）

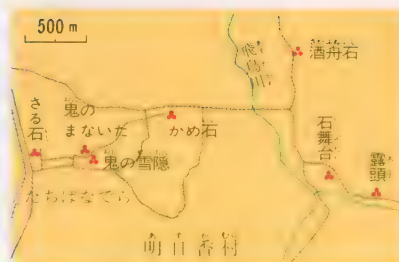
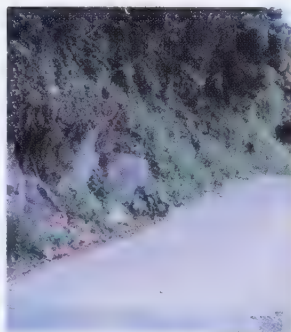
▲臼杵の石仏　阿蘇の外輪からはるばる流れてきた溶結ギョウカイ岩層の壁にほられているもの。（大分県）

▲鹿谷寺跡の多重塔　溶結ギョウカイ岩層の自然のままの露頭をくりぬいてつくられたもの。この塔は，溶結度が弱くてほりやすい部分をたくみに選んでいる。（大阪府）

▲多重塔の一部分　溶結度の強い部分（→140ページ）

▲石のお地蔵さん　古い街道すじによく見かけるもので，その土地の石でつくられたものが多い。これは，カコウヘンマ岩でつくられている。

◀カコウ岩の橋　カコウ岩は節理が大まかなので，橋や石碑などに使われる

▶ネンバン岩の石碑　ネンバン岩も平たく大きい節理面で割れるものは，石碑や橋に使われる。これには，細かいたい積のしま模様が見える。

奈良県の明日香村の丘をめぐりながら，石舞台などを見て歩くと，なにかしら古墳時代の人と石とのかかわり合いが身にせまってきます。

どの石も，クロウンモ・カクセン石カコウセンリョク岩で，とりこまれたまわりの岩石（ゼノリス）のレンズ模様がめだちます。

このような巨大な石を，どこから，どうして運んできたのかと考えたくなりますが，それは，近くに同じ岩質の露頭があることからも，それほど遠くない所から運んできたようです。

▲明日香村の地図

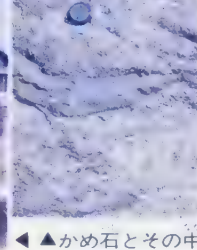
◀明日香の石と同じ岩質の露頭

▲石舞台

▲さる石

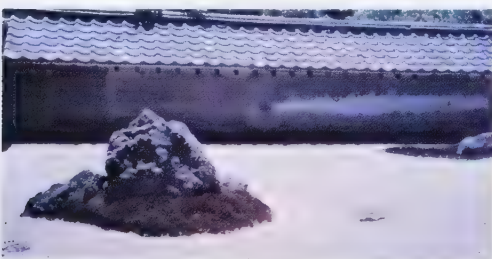
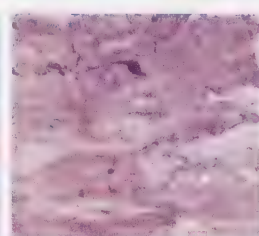
▲酒舟石

▲鬼の雪隠 ゼノリスが多い

▲鬼のまないた

◀ ▲かめ石とその中のゼノリス

竜安寺の石庭には，1本の木もなく，そこには岩との語りかけだけがあります。西芳寺(こけ寺)や大仙院の枯山水の石組みなどに使われている岩石は，どれもまわりの山や，丹波，山城地方にふつうに見られるもので，古い時代の地層のチャートやチャート質のネンバン岩などです。その地方の岩石で，節理面や層理面でかこまれた，そぼくな石の組み合わせです。ところが，妙心寺のわきには，セッカイ岩とギョウカイ岩のまじり合ったはでな石が使われている新しい型の庭園がつくられています。（京都府）

▲西芳寺(こけ寺)の石組み

▶大仙院の枯山水

▲竜安寺の石庭

◀▲新しい型の庭園と岩石

●町を歩いていると住いやそのまわりには，いろいろな石が，その特徴をいかして使われているのが，目につきます

▲住いの土べい　和泉層群のサ岩が土にうめこまれた土べいで，その土地にふさわしいそぼくなもの

▲カコウ岩の門構え　カコウ岩は，どっしりと落ちついた感じのする石なので，建造物によく使われる。

▲カコウ岩(下)，鉄平石(中)，ブロック(上)とでつくられた3種混合のへい

●鉄平石や丹波石は火山岩の板状の節理を利用して，平面にはり合わせたり，層状に重ねたりして，壁や敷石によく使われます

▲長方形にはり合わせた品のよい鉄平石の壁

▲しゃれたデザインの鉄平石の敷石

▲層状に積み重ねた鉄平石の柱

▲層状に積み重ねた丹波石の門柱

●この石材は，一般に大谷石とよばれているギョウカイ岩でカコウ岩などよりは温度の変化に強く，むかしは，かまどなどにもよく使われていました

▲大谷石でできた土蔵

▲大谷石でできたへい

▲大谷石を層状に使った

●石のおみやげ

▲那智黒とよばれるデイ岩のすずりとペン皿（和歌山県・三重県）　よく見ると，たい積の模様や節理，かいがら状の割れ口が見られる。

▲長瀞の結晶ヘン岩でつくられた灰皿(埼玉県)　川ぞいにいくつも見られるかめ穴(右)にそっくりのもの。

▲セッカイ岩の文ちん(山口県)と，花びんと灰皿(岐阜県)　ボウスイ虫の化石がたくさんはいっている

▶かんかん石(香川県)　きめの細かいアンザン岩で，節理面と流理面にそった自然に整った形のものは，たたくと金属的なよい音がする。

さくいん

あ

い

う

え

お

こ

さ

し

す

せ

そ

た

ち

●絵
浅井粂男
大沢金一
加藤磐雄
神山博光
近藤正昭
七条けんじ美術スタジオ
清水　勝
関川留以
瀬野丘太郎
そのスタジオ
立石鉄臣
永井　郁
中西　章
西里　精
藤田正純
マシログラフィック
松岡達英
村上金三郎
矢野洋子

●写真
池谷仙之
大島和雄
大場達之
岡藤五郎
加藤磐雄
加藤晋平
K.コワルスキー
徳永　功
長谷川善和
堀江　豊
松島義章
学研写真部
　小林幹彦
　矢島　勲
学研写真資料室

●資料提供
大山盛保
(故)佐々木仲雄
鈴木秀夫
野原朝秀
吉崎昌一

●写真撮影・取材協力
いわき市文化センター
宇部興産株式会社
大阪市立自然史博物館
大阪府科学教育センター
神奈川県立博物館
国立科学博物館
堺市立科学教育研究所
蛇宮神社
野尻湖発掘調査団
瑞浪市化石博物館
山口県立博物館

●装幀
道吉　剛
中村和代

●レイアウト
本信公久

●企画・編集
江川雄而
小野敏男
山添富士子
高橋知子

●写真撮影　American Museum(Natural History)／Bernard Price Institute for Paleontological Research, Johannesburg／British Museum(Natural History)／Institut Royal des Sciences Naturelles, Belgium／Institut und Museum für Geologie und Paläontologie, Universität Tübingen／Museo Argentino de Ciencias Naturales／National Museum of Natural Sciences, National Museums of Canada, Ottawa／Natur-Museum und Forschungs-Institut Senckenberg／Paleontological Institute, Academy of Sciences of USSR Paläontologie Museum, Museum für Naturkunde an der Humboldt-Universität zu Berlin, DDR

●主な参考図書・雑誌／T.P.Crimes J.C.Harper「Trace fossils」／W.K.Gregory「EVOLUTION EMERGING」／G.Heilmann「THE ORIGIN OF BIRDS」／R.S.Lull「A REVISION OF THE CERATOPSIA OR HORNED DINOSAURS」／J.Nowak 他「The second wooly rhinoceros from Starunia, Poland」／H.Osborn「THE TITANOTHERES OF ANCIENT WYOMING, DAKOTA, AND NEBRASKA」／A.K. ロジジェストウェンスキィ「ユーラシアの古動物界」(学習研究社)／G.G.Simpson「HORSES」／V.A.Trofimov 他「ISTORIA FAUNY MLEKOPITAYUSHCHIKH V CHETVERTICHNOM PERIODE」／E.Thenius「GRUNDZUGE DER VERBREITUNGS-GESCHICHTE, DER SÄUGETIERE」
楊鍾健「中国古生物誌」／楊鍾健「古脊椎動物与古人類」／週刊朝日(朝日新聞社)

学研の図鑑　化石・岩石　　NDC 031　160P　27cm

昭和51年10月25日　初版発行
昭和55年２月20日　第12刷発行

Printed in Japan

発行人・黒川　巌
編集責任者・金井康彦
印刷所・株式会社恒陽社印刷所
発行所・株式会社学習研究社　東京都大田区上池台4-40-5　郵便番号145
電話・東京(03)720-1111　振替・東京8-142930
©GAKKEN　1976　5512
無断複写複製(コピー)を禁ず
この本に関するお問い合わせ，製本上のミスなどがありましたら，下記あてにお願いいたします。
文書は，(〒145)東京都大田区上池台4-40-5 学研ユーザーサービス部「学研の図鑑」係
電話は，東京(03)720-1111(大代表)

定価 1280円　　8645-132 732-1002

学校の理科や社会科の勉強に、家庭学習に楽しく役だつ

学研の図鑑

●全国学校図書館協議会選定図書●日本図書館協会選定図書●日本理科教育学会推せん

植物

監修＝前国立科学博物館附属自然教育園園長
理学博士・大井次三郎

花だんや野山の草花、畑の作物など約 900種をおさめ、四季別・場所別・仲間別の分類でしらべやすい。植物のからだのしくみや働きや、花だんのせわのしかたもくわしくわかります。

昆虫

監修＝東京教育大学教授　農学博士・深谷昌次

日本でみられる昆虫約850種と外国のめずらしい昆虫30種、クモなどこん虫でない虫29種。チョウ、カブトムシなどなかま別に分類、それぞれのからだのしくみやくらし方がくわしく理解できます。

水の生物

監修＝国立科学博物館　理学博士・渡部忠重
国立科学博物館　理学博士・馬渡静夫

カニ、エビ、カイやヒトデ、サンゴなど魚類以外の水にすむ生物と海そう約750種。それぞれのなかまのからだのしくみ、くらし方から、とり方やかい方、標本のつくりかたもよくわかります。

魚

監修＝京都大学教授　農学博士・岩井保
都立上野動物園水族館館長・久田迪夫

世界の魚約550種をカラー写真と資料画でくわしく紹介。種類数が多くみわけにくい魚のなかまをわかりやすく分類。うきぶくろやこきゅうなど、からだのしくみ、めずらしい生活もわかります。

鳥

監修＝日本鳥学会会頭　理学博士・黒田長久
山階鳥類研究所　松山資郎

トキやキジ、ウグイス、カラスなど日本の野鳥を中心に、動物園でみられる世界の鳥、かい鳥など約560種。空をとぶからだのしくみ、住んでいる所やなかまわけのし方、かいかたもわかります。

動物

監修＝国立科学博物館動物学研究部長
理学博士・今泉吉典
女子栄養大学教授　小原秀雄

カエルのなかまの両生類、ヘビのなかまのは虫類、けもののなかまのほにゅう類。合計約550種を美しい資料画で紹介、巻末でよりくわしく解説。動物のなかまの特徴、生活もわかります。

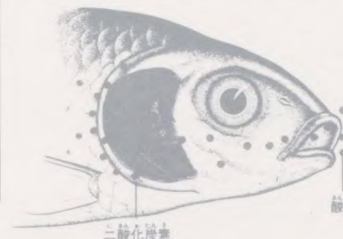
花

監修＝東京大学名誉教授・前東京大学理学部附属
小石川植物園園長・理学博士・田中信徳

チューリップ、アサガオをはじめとした花だんや温室の花、イネやスイカなどの作物約650点をおさめた図鑑部と植物のすべてをくわしく解説した「植物のさいばいと利用」とからなる楽しい図鑑。

飼育と観察

監修＝東北大学学長・理学博士　加藤陸奥雄
奈良女子大学教授・理学博士　津田松苗
前横浜国立大学教授・理学博士　酒井恒

チョウ、トンボ、カエルなどの身近な昆虫や動物の野外観察と採集のし方、かい方など昆虫の観察と飼育のガイド。家のまわり、林、海など住んでいる場所別にまとめてあるので調べやすい。

宇宙

監修＝京都大学教授・理学博士　宮本正太郎
気象庁　根本順吉

〈空と地上のできごと〉〈太陽と地球〉〈宇宙のすがた〉を大きな柱に、太陽のはたらきや地球のすがた、気象の変化、人工えいせいや天体が400点の図と写真で楽しみながら理解できる。

地球

監修＝東京大学教授・理学博士　力武常次

地球のたん生から現在までのうつり変わりときょうりゅうなどの生物の歴史、火山や地下水など今日の地球の活動のようす、地球をつくっている岩石や資源をもくわしく美しいカラーで紹介。

理科の実験

監修＝東京学芸大学名誉教授　宇井芳雄
東京大学教授　中村純二
東京大学助教授　渡辺啓

糸でんわや紙飛行機などの楽しい実験が、身近な材料ででき、理科に強くなる図鑑。色水実験などやさしいものから、レンズ、電気などの実験まで170例。小学校の理科に役だちます。

人とからだ

監修＝東京大学名誉教授　小川鼎三
東京大学教授　渡辺直経

人間は大むかしのサルのような動物から、どう変わってきたか、そのようす。人間のからだのしくみとはたらきがくわしい図解でわかる。

（おうちのかたへ）

お子さまの興味を豊かな知識に育てます。

- 昆虫から乗り物まで、豊富な分野がそろっていますので、学校の勉強に家庭学習に楽しく役だちます。
- 実験や観察の要点がよくわかり、すじ道だてて考える力や観察力がしっかり身につきます。
- 理科で勉強する昆虫のからだのしくみやくらし方、花の育ち方などが楽しみながら理解できます。
- 社会科に役だつ図鑑もそろっています。

理科の自由研究

監修＝東京教育大学教授・農学博士 深谷昌次
東京教育大学教授・農学博士 藤井利重
東京都立大学教授・理学博士 佐々木宗雄 他

昆虫、植物、小さな生物、風や温度の実験などを中心に、自由研究のテーマの選び方、計画のたてかた、実験や観察のまとめ方やポイントなど100の例を紹介。夏休みに最適な参考書。

大むかしの動物

監修＝東京教育大学助教授・理学博士 大森昌衛

きょうりゅうを中心に、は虫類・魚類・両生類・ほにゅう類など、大むかしに生きていた動物の種類や生活のようすを、リアルな絵で紹介。
生物の進化も図解でわかりやすい。

海

監修＝東海大学教授 岩下光男

世界の海をさぐった人びとの歴史や海と人間とのかかわりあい。海の生物、海水、海流、海底などあらゆる角度から海をとらえた図鑑。海のふしぎなできごとや海洋開発のこともわかる。

爬虫・両生類

監修＝広島大学名誉教授・理学博士 川村智治郎

大むかし地球上にさかえた、きょうりゅうから、カメ、ヘビ、ワニなどのは虫類、カエル、イモリなどの両生類。現在の全世界に住んでいるものを原色図で紹介。習性やからだのしくみもわかる。

電気

監修＝東京大学助教授 高橋洋一
東京大学助教授 曽根悟

やさしい電気の原理や、モーター、トランジスタ、テレビなど電気の原理を活用した身近な機器のしくみと働きをわかりやすく図解。発電所のしくみや通信えい星、アマチュア無線、放送にも強くなる。

交通機関の発達

監修＝日本海事科学振興財団 上野喜一郎 他

船、自動車、鉄道、飛行機が現代のように発達するまでの移り変わりを300点以上の原色図で解説。むかしの飛行機のしくみやエンジンのしくみなどがくわしくわかります。

化石・岩石

監修＝国立科学博物館 長谷川善和
大阪府科学教育センター 加藤磐雄

化石は、古世代の魚類や昆虫、中世代のきょうりゅう、新世代のほ乳動物など世界の代表例を示し岩石は、火成岩、たい積岩、変成岩の種類と特徴をカラーで紹介。

クモ

監修＝東亜クモ学会 中平清

日本で見られるクモ約270種、世界の有名なクモなど約50種を、くわしい資料画と生態写真で紹介。生息域別なのでしらべやすく、からだのしくみや生活がよくわかります。

世界地理 I
自然とくらし

監修＝国立民族学博物館館長 梅棹忠夫
国立民族学博物館助教授 石毛直道

6年の社会科単元「世界の自然とくらし」にあわせ各気候帯ごとの特色ある生活を紹介。大自然とたたかう人々の姿を伝える一冊。

世界地理 II
資源と産業／結びあう世界

監修＝東京学芸大学教授 辻本芳郎

6年の社会科単元「結びあう世界」にあわせて構成。世界のエネルギー資源、食料・鉱工業・貿易などの現状と問題点をわかりやすく解説。

日本地理 I
自然とくらし

監修＝京都大学教授 浮田典良
国立民族学博物館教授 佐々木高明

4年の社会科にあわせ、「寒い地方」「山地」など7つに分けて気候や地形の特色と人々の生活を紹介。見て学ぶ自然とくらしの図鑑。

日本地理 II
資源と産業

監修＝東京学芸大学教授 辻本芳郎

5年の社会科単元「国土と産業」にあわせ、資源、農林水産業、工業、貿易、公害問題などを図解。最新データによる別冊資料つき。